

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA TEXTILNÍ

Katedra oděvnictví

Akademický rok: 2009/2010



Studijní program: N3106 Textilní inženýrství

Studijní obor: Textilní a oděvní technologie

**Analýza tvorby ultrazvukových spojů v závislosti na technických a  
materiálových parametrech**

**Analysis of ultrasonic generation connections, depending on the  
technical and material parameters**

KOD/2010/06/3/MS

JANA DINDOVÁ

Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Antonín Havelka, CSc.

Konzultant : Ing. Oksana Lebid, Ph.D.

**Rozsah práce**

Počet stran: 77

Počet obrázků: 26

Počet tabulek: 11

Počet grafů: 21



## Prehlásenie

Prehlasujem, že predložená diplomová práca je pôvodná a spracovala som ju samostatne. Prehlasujem, že citácia použitých prameňov je úplná, že som v práci neporušila autorské práva (v zmysle zákona č. 121/2000 Zb. o práve autorskom a o právach súvisiacich s právom autorským).

Súhlasím s umiestnením diplomovej práce v Univerzitetnej knižnici TUL.

Bola som oboznámená s tým, že na moju diplomovú prácu sa plne vzťahuje zákon č. 121/2000 Zb. o práve autorskom, hlavne § 60 (školské dielo).

Beriem na vedomie, že TUL má právo na uzavretie licenčnej zmluvy o použití mojej diplomovej práce a prehlasujem, že **s ú h l a s í m** s prípadným použitím mojej diplomovej práce (predaj, zapožičanie a pod.).

Som si vedomá toho, že použiť moju diplomovú prácu, či poskytnúť licenciu k jej využitiu môžem iba so súhlasom TUL, ktorá má právo odo mňa požadovať primeraný príspevok na úhradu nákladov, vynaložených univerzitou na vytvorenie diela (až do ich skutočnej výšky).

V Liberci, 12.5. 2010

.....

Podpis

## **Pod'akovanie**

Dovoľujem si poďakovať vedúcemu diplomovej práce **doc. Ing. Antonínovi Havelkovi, CSc.** a konzultantovi diplomovej práce **Ing. Oksane Lebid, Ph.D.**, za ich odborné vedenie, cenné rady, pripomienky a usmernenie pri realizácii mojej diplomovej práce.

Touto cestou chcem vysloviť vďaku mojej rodine za ich trpezlivosť a podporu.

## ANOTÁCIA

Táto diplomová práca je zameraná na analýzu tvorby ultrazvukových spojov.

Úlohou práce je v prvom rade previesť rešerš o ultrazvukovom zváraní a spojovaní textilných materiálov. Ďalej navrhnúť experiment overenia vplyvu materiálového zloženia textílií na pevnosť spojenia. Vybranie materiálov s pomerom syntetických a prírodných vlákien. Materiál obsahuje viac syntetických vlákien.

Ďalšou úlohou je previesť experimentálne overenie ultrazvukového spojenia pri rôznych parametroch ultrazvukovej zväračky a zloženia spojovaných materiálov. Vybranie štyroch typov koliesok a vhodných zväracích parametrov vzhľadom k typu materiálu a typu kolieska. Zisťovanie pevnosti švu aj po praní.

Taktiež porovnať pevnosť spoja klasickými metódami a ultrazvukom.

## ANNOTATION

The purpose of this work is focused on the analysis of ultrasonic generation connections.

The main aim of my work is to convert recherche of ultrasonic welding and joining of textile materials. Next, design an experiment verifying the impact of the material composition of the textiles for joint strength. Choosing materials with synthetic and natural fibers. The material contains more synthetic fibers.

Next aim is to transfer the ultrasonic experimental verification of connections to various parameters of ultrasonic welding and the composition of the assembly materials. Choosing the four types of wheels and suitable welding parameters in relation to the type of material and type of wheels. Detection of seam strength, even after washing.

Also compare the strength of the joint classical methods and ultrasound.

## KLÚČOVÉ SLOVÁ

<b>Tkanina</b>	Fabric
<b>Techniky spojovania</b>	Joining techniques
<b>Termoplastický materiál</b>	Thermoplastic material
<b>Ultrazvuk</b>	Ultrasound
<b>Ultrazvukové spojovanie</b>	Ultrasonic joining
<b>Ultrazvukové zváranie</b>	Ultrasonic welding
<b>Spoj</b>	Join
<b>Pevnosť spoja</b>	Joint strength
<b>Rýchlosť zvárania</b>	Welding speed
<b>Amplitúda</b>	Amplitude
<b>Klasické šitie</b>	Classic sewing

## **ZOZNAM POUŽITÝCH SYMBOLOV A SKRATIEK**

<b>DP</b>	diploMOVÁ práca
<b>UZ</b>	ultrazvuk
<b>VI</b>	viskóza
<b>PL</b>	polyester
<b>PP</b>	polypropylén
<b>PA</b>	polyamid
<b>PE</b>	polyetylen
<b>PET</b>	polyetylentereftalát
<b>PC</b>	polykarbonát
<b>PS</b>	polystyren
<b>ABS</b>	akrylonitril- styren- akrylát
<b>PVC</b>	polyvinylchlorid
<b>atď.</b>	a tak ďalej
<b>t.j.</b>	to je
<b>a i.</b>	a iné
<b>a pod.</b>	a podobne
<b>popr.</b>	poprípade
<b>obr.</b>	obrázok
<b>napr.</b>	napríklad
<b>min.</b>	minimálne
<b>č.</b>	číslo
<b>g/m<sup>2</sup></b>	plošná hmotnosť
<b>mm</b>	milimeter
<b>mm<sup>2</sup></b>	milimeter štvorcový
<b>l</b>	liter
<b>Kg</b>	kilogram
<b>Hz</b>	hertz
<b>kHz</b>	kilohertz
<b>MHz</b>	megahertz
<b>W</b>	watt
<b>V</b>	volt
<b>m</b>	meter

<b>m/s</b>	rýchlosť v metroch za sekundu
<b>m/min</b>	rýchlosť v metroch za minútu
<b>s</b>	sekunda
<b>A</b>	amplitúda
<b>v</b>	rýchlosť
<b>W.cm<sup>-2</sup></b>	intenzita
<b>T</b>	čas
<b>f</b>	frekvencia
<b><math>\lambda</math></b>	vlnová dĺžka
<b>c</b>	rýchlosť šírenia
<b>Pa</b>	pascal
<b>p</b>	tlak
<b>I</b>	intenzita
<b>P</b>	výkon
<b><math>\mu\text{m}</math></b>	mikrometer
<b>J</b>	joul
<b>Q</b>	teplo
<b>kVA</b>	kilovoltampér
<b>N</b>	newton



## OBSAH

1.	ÚVOD .....	12
2.	FYZIKÁLNE ZÁKLADY ULTRAZVUKU .....	13
2.1.	Zdroje ultrazvuku.....	14
2.2.	Vznik ultrazvukových vln.....	15
2.3.	Spôsoby šírenia ultrazvukových vln .....	16
2.4.	Druhy ultrazvukových vln .....	17
2.4.1.	Pozdĺžne (longitudinálne) vlny .....	17
2.4.2.	Priečne (transverzálne) vlny .....	17
2.4.3.	Povrchové (Rayleighove) vlny .....	18
2.4.4.	Doskové (Lambové) vlny .....	18
2.5.	Rýchlosť šírenia vln v prostredí.....	18
2.6.	Rýchlosť šírenia ultrazvuku v tuhých látkach .....	18
2.7.	Využitie ultrazvuku.....	19
3.	NEORTODOXNÉ SPÔSOBY SPOJOVANIA.....	21
3.1.	Ultrazvukové oddeľovanie, spojovanie a pojenie textílií .....	21
3.2.	Lepenie odevných výrobkov .....	22
3.3.	Zváranie odevných výrobkov .....	22
3.3.1.	Exotermické zváranie odevných výrobkov.....	23
3.3.2.	Endotermické zváranie odevných výrobkov.....	24
4.	ULTRAZVUKOVÉ ZVÁRANIE ODEVNÝCH MATERIÁLOV .....	26
4.1.	Princíp ultrazvukového zváranie termoplastov.....	26
4.2.	Parametre ovplyvňujúce kvalitu spoja.....	28
4.3.	Výhody a nevýhody ultrazvukového zvárania odevných materiálov .....	29

4.4.	Materiály používané na ultrazvukové zvárania .....	30
4.5.	Použitie ultrazvukového zvárania v priemysle .....	30
4.6.	Spôsoby ultrazvukového zvárania .....	32
4.7.	Ultrazvuková technika .....	32
4.8.	Schéma zvaracieho stroja.....	33
4.8.1.	Ultrazvukový zvarací stroj PFAFF 8310 .....	35
4.8.2.	Ultrazvukový zvarací proces .....	37
5.	EXPERIMENTÁLNA ČASŤ.....	40
5.1.	Charakteristika použitých materiálov .....	40
5.2.	Použité zariadenia .....	40
5.2.1.	PFAFF 8310.....	41
5.2.2.	Trhací prístroj Labtest 2.5x.....	42
5.3.	Výsledky vyhodnotenia pevnosti preplátovaného švu spojeného pomocou ultrazvukového zvárania a klasickým šitím.....	45
5.3.1.	Porovnanie pevnosti ultrazvukom zvaraného švu a šitého švu.....	54
5.4.	Postup domáceho prania a sušenia pre skúšanie textílií .....	55
5.5.	Výsledky vyhodnotenia pevnosti švu spojeného pomocou ultrazvukového zvárania a klasickým šitím po prvom, treťom a piatom praní .....	56
5.6.	Výsledky vyhodnotenia a porovnanie pevnosti chrbátového a preplátovaného švu spojeného pomocou ultrazvukového zvárania a klasickým šitím .....	61
5.7.	Porovnanie preplátovaného a chrbátového švu .....	65
5.8.	Pevnosť zvaru .....	66
5.8.1.	Namáhanie smykom .....	67
5.9.	Závislosť materiálového zloženia na pevnosti spoja .....	68
6.	ZÁVER .....	70

7.	ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY PRE SPRACOVANIE DP.....	72
----	--	----

## 1. ÚVOD

Odevný priemysel využíva viacero spôsobov spojovania, ktoré rozdeľujeme na ortodoxné a neortodoxné. Každý z nich má svoje výhody aj nevýhody. Do ortodoxných spôsobov spojovania zaraďujeme klasické šitie. Je to najbežnejší spôsob spojovania odevných dielov pri zhotovovaní odevných výrobkov. Spája jednotlivé diely pomocou šijacích nití a poskytuje dostatočnú pevnosť, pružnosť a estetické vlastnosti. Vznikom termoplastických vlákien a zaradením textilných materiálov z nich vyrábaných, do odevnej výroby bol podmienený vývoj nových technológií spojovania (neortodoxných spôsobov spojovania). Tieto spôsoby spojovania odevných materiálov pracujú na princípe lepenia alebo zvárania odevných materiálov a to bez použitia šijacej techniky a šijacích nití. Táto metóda však klasické šitie nenahrádza, ale je len jej vhodným doplnkom.

Na neortodoxné spôsoby spojovania je zameraná aj predložená diplomová práca, konkrétne na ultrazvukové zváranie odevných materiálov.

Oblasť využitia ultrazvuku je veľmi široká. Využívanie ultrazvukovej energie zaznamenalo v poslednom období veľmi prudký rozvoj. Postupne boli poznávané špecifické vlastnosti a účinky ultrazvukovej energie. Ultrazvuk sa v textilnej praxi využíva hlavne pre spojovanie a oddeľovanie textilných útvarov vyrobených z termoplastických vlákien. S rozvojom elektroniky, výpočtovej techniky a nových materiálov dochádzalo a stále dochádza k nájdeniu, účinných a praktických možností ultrazvuku.

## 2. FYZIKÁLNE ZÁKLADY ULTRAZVUKU

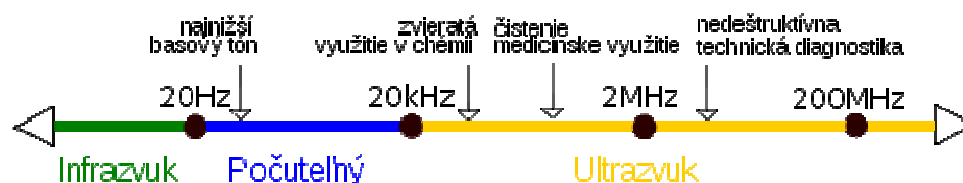
**Zvuk** je z fyzikálneho hľadiska pozdĺžne mechanické vlnenie, ktoré zdravé ľudské ucho vníma vo frekvenčnom rozsahu od 16 Hz do 20 000 Hz [4].

**Mechanickým vlnením** rozumieme také vlnenie, ktorého nositeľom sú samé častice (molekuly) prostredia, ktorým sa vlnenie šíri. Na rozdiel od elektromagnetického vlnenia (napr. svetla), ktorého nositeľom sú fotóny, sa nemôže ultrazvukové vlnenie šíriť nehmotným prostredím (vákuom).

Ako pozdĺžne označujeme také vlnenie, ktorého častice kmitajú okolo svojej rovnovážnej polohy v tom istom smere, v akom sa i celé vlnenie šíri.

Jedna z najzákladnejších vlastností zvuku je jeho frekvencia. Na základe frekvencie sa zvuk delí do štyroch skupín: infrazvuk, počuteľný zvuk, ultrazvuk a hyperzvuk.

- Infrazvuk** (pod 16 Hz) - predstavuje oblasť kmitov s veľmi nízkymi frekvenciami, takými, ako vznikajú napr. pri zemetrasení: nazývame ich seizmickými vlnami [1]:
- Počuteľný zvuk** (16 až 20 000 Hz) – v klasickej akustike sa prenáša vzduchom a dosahuje akustických výkonov značne menších než 1 watt, v ojedinelých prípadoch aj viac. Táto oblasť akustiky sa zameriava predovšetkým na generovanie, prenos a príjem počuteľných signálov šíriacich sa vo vzduchu bez ohľadu na ich druh [1]:
- Ultrazvuk (UZ)** (20 kHz až 100 MHz) – pozdĺžne mechanické vlnenie o frekvenciách vyšších než je horná medza počuteľnosti, teda nad 20 kHz. Šírenie ultrazvukového vlnenia nie je spojené s prenosom hmoty, jej častice iba kmitajú na mieste okolo svojej rovnovážnej polohy:
- Hyperzvuk** (nad 100 MHz) – táto oblasť zahŕňa najvyššie možné dosiahnuteľné frekvencie, ktoré sú zrovnateľné napr. s tepelnými kmitmi molekúl fáze. Využívame ich pri štúdiu a stavby hmoty [1]:



Obr. č.1 Ultrazvuk a jeho využitie [20]

Podľa účinku môžeme ultrazvuk rozdeliť na aktívny a pasívny.

Pasívny ultrazvuk zahrňuje všetky oblasti použitia, kde ultrazvukové kmitanie alebo vlnenie dosahuje takú intenzitu, ktorá nevyvoláva nejaké fyzikálne alebo chemické zmeny v prostredí. Využívajú sa tu fyzikálne zákonitosti spojené s šírením ultrazvuku v plynnom, kvapalnom a tuhom prostredí. Na týchto princípoch pracuje celá meracia a kontrolná ultrazvuková technika.

Využitie pasívnej ultrazvukovej energie bolo aplikované pri skúmaní celistvosti rozličných materiálov, hľadaním skrytých defektov a chýb hlavne pri kovových výrobkoch. Toto odvetvie ultrazvukovej techniky má vlastné pomenovanie- ultrazvuková defektoskopia, ktorá umožňuje nedeštruktívnou cestou skúmať chyby, ako aj štruktúru výrobkov a materiálov. V neposlednej rade je potrebné zmieniť sa o využití pasívneho ultrazvuku v zdravotníctve, kde sa používa k diagnostike vnútorných orgánov.

Pasívny ultrazvuk je zameraný na kontrolu a sledovanie technologických výrobných a iných procesov, ktoré reprezentuje celá škála ultrazvukových meracích a kontrolných prístrojov, umožňujúcich nielen sledovanie výrobných procesov, ale aj vytvárajúcich podmienky pre jej mechanizáciu a automatizáciu [21].

Aktívny ultrazvuk pracuje s vyššími intenzitami približne nad  $50 \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2}$ .

Nazývaný tiež ako „makrozvuk“, ovplyvňuje vlastnosti resp. štruktúru prostredia ak ho podrobíme vplyvu ultrazvuku. Využíva sa v oblastiach vedy a techniky, kde je treba urýchliť jednotlivé procesy, alebo zvýšiť kvalitu prevedených operácií a tiež k zváraniu textílií [2].

## 2.1. Zdroje ultrazvuku

K vzniku ultrazvuku slúži rada zdrojov, z ktorých najznámejšie sú [6]:

- mechanické systémy
- systémy techniky prúdenia
- termodynamické meniče chvenia
- elektronické meniče chvenia

Pre praktické užitie prichádzajú do úvahy systémy, pri ktorých je chvenie vybudené elektricky pomocou magnetostrikčných, piezoelektrických a elektrostrikčných meničov.

## 2.2. Vznik ultrazvukových vln

V ultrazvukovom poli vykonávajú častice hmoty periodické kmitavé pohyby, ktoré sú im vnucované zdrojom energie, napr. ultrazvukovým žiaričom. Môžeme teda povedať, že ultrazvukové vlny tvoria oscilujúce hmotné častice spojené akoby elastickou pružinou. Každá častica je ovplyvňovaná kmitavým pohybom susedných častíc, čo sa navonok prejavuje ako vlnový pohyb všetkých častíc [2].

Veličiny charakterizujúce ultrazvukovou vlnou sú:

- *perióda* ( $T$ ), čas jedného kompletného cyklu meraný v sekundách:

$$T = \lambda/c \quad [s]$$

- *frekvencia* ( $f$ ), počet periód (kmitov) za sekundu, merané v Hertzoch [Hz].

Frekvencia nie je závislá na médiu v ktorom sa ultrazvuk šíri. Závislosť medzi trvaním kmitov a frekvenciou je daná vzťahom:

$$f = 1/T \quad [Hz]$$

- *vlnová dĺžka* ( $\lambda$ ), dĺžka jednej periódy meraná v metroch, alebo priestorová vzdialenosť medzi dvoma bodmi, ktoré ležia za sebou v rovnakej fáze vlny:

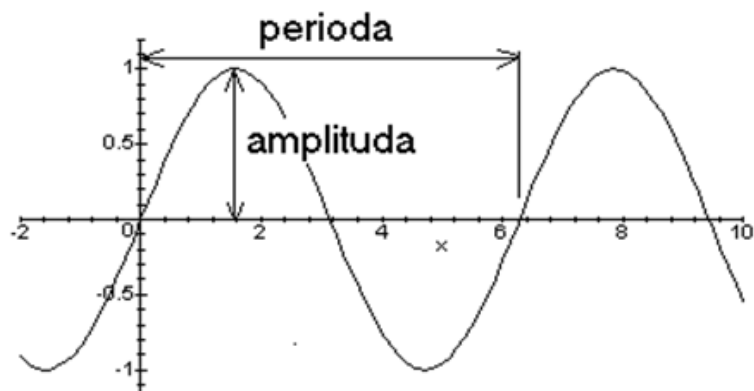
$$\lambda = c/f = c.T \quad [m]$$

- *rýchlosť šírenia* ( $c$ ), rýchlosť ako sa šíri ultrazvuk daným médiom.

Rýchlosť šírenia je závislá na typu média:

$$c = \lambda.f \quad [m.s^{-1}]$$

[2]



Obr. č.2 Vlastnosti postupného vlnenia [20]

### Ďalšie veličiny charakterizujúce ultrazvukové vlnenie

- $p$  – akustický tlak (Pa), okamžitý tlak v médiu spôsobený prienikom akustickej vlny.
- $I$  – akustická intenzita ( $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ ), výkon ultrazvukovej vlny prenesenej cez plochu kolmo k ultrazvukovému zväzku.
- $P$  – akustický výkon (W), množstvo akustickej energie prenesenej za časovú jednotku.

Pri prieniku ultrazvuku z jedného média do druhého dôjde k zmene rýchlosti šírenia, zmenenej vlnovej dĺžky, avšak frekvencia ostáva rovnaká. Medzi frekvenciou, fázovou rýchlosťou a vlnovou dĺžkou platí jednoduchý vzťah [2].

$$f = v/\lambda$$

Častice hmoty v ultrazvukovom poli podliehajú periodickej vibrácii okolo jej kludovej pozície. Maximálna vzdialenosť od kludovej pozície sa nazýva amplitúda (obr. č.2). Amplitúda a počet pohybujúcich sa častíc udáva intenzitu (energiu ultrazvuku). Akustická energia (J) je mechanická energia, ktorá je prenášaná behom prieniku ultrazvukovej vlny [2].

### **2.3. Spôsoby šírenia ultrazvukových vln**

V neohraničenom prostredí sa ultrazvuková vlna šíri od svojho zdroja priestorovo. Susediace častice kmitajúce v rovnakej fáze tvoria vlnoplochu. Podľa ich tvaru označujeme tvary vln:



- Rovinné vlny
- Valcové vlny
- Guľové vlny

Ak tvorí vlnoplocha rovinu kolmú na smer šírenia, ide o vlnu rovinnú. Jej zdrojom je harmonicky kmitajúca nekonečná rovina. Iným tvarom sú valcové vlny, ktorých vlnoplochy sú vzájomne súosé valce. Zdroj vln je v tomto prípade priamka alebo valec. Pri zdrojoch malých rozmerov bodových sa stretávame s vlnami kruhovými, ktorých vlnoplochy majú tvar sústredených kruhových plôch so stredom v bodovom zdroji ultrazvuku. Pri značne veľkom polomere prechádza kruhová vlna rovinou [16].

## 2.4. Druhy ultrazvukových vln

Ultrazvukových vln šíriacich sa prostredím môže byť niekoľko druhov, ktoré sa vzájomne líšia spôsobom pohybu častíc prostredia vzhľadom k smeru šírenia vlny [16].

### 2.4.1. Pozdĺžne (longitudinálne) vlny

Najbežnejšie a najznámejšie sú pozdĺžne ultrazvukové vlny, kedy častice prostredia kmitajú priamočiari v smere šírenia vlny. Pri tomto pohybe vzniká striedavé zhusťovanie a zriedovanie častíc prostredia, pričom dochádza aj k striedavej zmene jeho objemu. Tieto vlny sú najrýchlejšie a šíria sa v prostredí tuhom, kvapalnom a plynnom. Jednou podmienkou, aby sa v prostredí mohla šíriť čisto pozdĺžna vlna, sú jeho dostatočne veľké rozmery k dĺžke vlny  $\lambda$  [16, 17].

### 2.4.2. Priečne (transverzálne) vlny

Ďalšie v poradí dôležitosti sú priečne vlny, ktoré sa opäť môžu šíriť v prostredí s rozmermi omnoho väčšími, než je dĺžka vlny a ktoré odoláva namáhaniu v smyku, tj. v tuhom prostredí. Znakom týchto vln je kmitanie častíc kolmo na smer šírenia vlny. V kvapalinách a plynch sa tieto vlny nemôžu vyskytnúť, pretože oba tieto skupenstvá nekladú žiadny odpor smykovému namáhaniu.

Rýchlosť šírenia priečných vln je vždy menšia než pri vlnách pozdĺžnych, a preto pri tej istej frekvencii majú kratšiu dĺžku vlny než pozdĺžne [16, 17].

#### 2.4.3. Povrchové (Rayleighove) vlny

Na voľnom povrchu tuhého prostredia sa môžu šíriť povrchové vlny až do hĺbky približne sa rovnajúcej dĺžky vlny, pričom častice vykonávajú eliptický pohyb. Ide o zvláštny prípad priečnych vln, pretože kmitanie častíc okolo rovnovážnej polohy sa skladá z dvoch vektorov, z ktorých je vektor kolmý k povrchu, t.j. na smer šírenia, má omnoho väčšiu veľkosť než vektor s týmto smerom rovnobežný [16, 17].

#### 2.4.4. Doskové (Lambové) vlny

Môžu sa šíriť dvoma rozdielnymi spôsobmi ako vlny symetrické (dilatačné) alebo asymetrické (ohybové) v závislosti na hrúbke materiálu, frekvencii a uhle dopadu [2].

Zatiaľ čo v pevných látkach sa môžu šíriť všetky druhy vln, v kvapalinách a plynach je možné zaznamenať iba vlny pozdĺžne. Je to dané tým, že v kvapalinách a plynach sú častice od seba viac vzdialené a nemôžu prenášať dostatočné smykové zaťaženia, ktoré sú potrebné k vzniku priečnych, povrchových a doskových vln.

### 2.5. Rýchlosť šírenia vln v prostredí

Šírenie ultrazvukových vln vyvoláva v plynnom, kvapalnom alebo tuhom prostredí periodické stlačenie a zriedovanie, ktoré je dôsledkom striedavých tlakových zmien spôsobených postupujúcim ultrazvukovým vlnením.

Zvukové vlny strednej hustoty vyvolávajú periodické alternácie z oblasti opakujúceho sa zahustenia a zriedenia. Rýchlosť šírenia v čistých plynach a kvapalinách závisí na tlaku a hustote prostredia a mení sa s teplotou.

Rýchlosť šírenia (ultra)zvuku klesá v poradí tuhé látky > kvapaliny > plyny. Stručne povedané, tuhším prostredím sa toto vlnenie šíri rýchlejšie [9].

### 2.6. Rýchlosť šírenia ultrazvuku v tuhých látkach

Tuhé látky sa líšia od kvapalín a plynov omnoho väčšími medziatomárnymi väzbovými silami a preto znášajú aj smykové namáhanie. V dôsledku toho sú tieto látky

jediné, ktoré môžu prenášať všetky druhy ultrazvukových vln. Niektoré druhy látky ako napr. kryštály sú anizotropické, čo spôsobuje, že rýchlosť šírenia ultrazvukových vln závisí na orientácii.

## 2.7. Využitie ultrazvuku

Využívanie ultrazvukovej energie zaznamenalo za posledné štvrtstoročie veľmi prudký rozvoj. Postupne boli poznávané špecifické vlastnosti a účinky ultrazvukovej energie. S rozvojom elektroniky, výpočtovej techniky a nových materiálov dochádzalo a stále dochádza k nachádzaniu nových, účinných a praktických možností využitia ultrazvuku. K dnes už klasickým spôsobom využitia ultrazvuku (na konci dvadsiateho storočia) patrí umývanie - čistenie v ultrazvuku, zváranie ultrazvukom, obrábanie a vŕtanie ultrazvukom, meranie vzdialeností a výšky hladín ultrazvukom, ultrazvukové prietokomery, merače viskozity, merače modulu pružnosti, merače netesnosti, diagnostické žiarenie pre defektoskopiu, ultrazvukové žiarenie pre zdravotníctvo, inhalačné ultrazvukové zariadenie, ultrazvukové zariadenie na úpravu vzduchu, ultrazvukové diagnostické zariadenia pre snímanie informácií o biologických objektoch, ultrazvukové miesiace zariadenia, ultrazvukové zabezpečovacie čidlá a ďalšie. Ďalej existuje celá rada funkčných aplikácií využitia ultrazvuku v špeciálnych oblastiach (vojenské aplikácie, komunikačné systémy a prenos informácií, zameriavacie systémy a ďalšie) [3].

**Ultrazvukové čistenie** – je zrejme najrozšírenejšou aplikáciou ultrazvukových technológií. V oblasti čistenia tvarovo zložitých súčiastok je táto technológia takmer bezkonkurenčná. Používa sa na čistenie súčiastok jemnej mechaniky (napr. hodiniek), ale až po rozmerné celky leteckých motorov. Ultrazvukové čistiace vane sa delia do dvoch hlavných skupín- vyrábajú sa ako kompletne čističky alebo ultrazvukové čistiace linky [17].

**Ultrazvukové rezanie** – sa využíva v rôznych odvetviach priemyslu a tiež v potravinárstve. Rezy ultrazvukovými nožmi sú hladké a presné. Ultrazvukové vibrácie umožňujú rezať aj materiály, ktoré sa bežnými metódami rezať nedajú (napr. v gumenárskom priemysle sa používajú na rezanie nevulkanizovanej gumy) [17].

**Ultrazvukové brúsenie** – je progresívna metóda obrábania ťažko obrobitelných materiálov. Zvyšovanie technickej spôsobilosti výrobných strojov je trvalý proces,

ktorému je potrebné venovať značnú pozornosť a úsilie. Aktuálnym problémom je obrábanie materiálov s vysokou pevnosťou, odolnosťou voči oteru a korózii. Jednou z metód ovplyvňujúcich proces obrábania týchto materiálov je aplikácia výkonového ultrazvuku v procese brúsenia [17].

**Ultrazvuk v medicíne** – princípom ultrazvukovej vyšetrovacej metódy je zobrazenie orgánov a tkanív ľudského tela pomocou zvukových vln s vysokou frekvenciou. Na rozdiel do rentgénového žiarenia sa ultrazvuk v medicíne presadzoval omnoho pomalšie. Základom využitia ultrazvuku sa stalo objavenie piezoelektrického javu P. Curiem v roku 1898, čo neskôr využil P. Langevin pri výrobe prvých ultrasonografických sond (USG). V medicíne sa využíva frekvencia od 1 do 12MHz [17].

### 3. NEORTODOXNÉ SPÔSOBY SPOJOVANIA

Najbežnejší spôsob spojovania odevných dielov pri zhotovovaní odevných výrobkov je šitie. V poslednom období sa objavili aj iné spôsoby spojovania textílií, ktoré vhodne dopĺňujú šitie. Vývoj nových technológií spojovania bol podmienený vznikom termoplastických vlákien a zaradením textilných materiálov, z nich vyrábaných, do odevnej výroby. Pri spracovaní týchto materiálov šitím vznikali ťažkosti v podobe preplátovania šitého materiálu, natavovania miesta vpichu ihlou ohriatou rýchlym vpichovaním do materiálu, časté pretrhy nití alebo tavenie nití pri vysokých otáčkach stroja, v dôsledku čoho dochádzalo často k zanášaniu uška ihly taveninou z nite. Nové spôsoby spojovania odevných dielov pracujú na princípe lepenia, alebo zvárania textilných materiálov a to bez použitia šijacej techniky a šijacích nití. Táto špeciálna technika však šitie nenahradzuje, ale je len jej vhodným doplnkom [5].

#### 3.1. Ultrazvukové oddeľovanie, spojovanie a pojenie textílií

Ultrazvukové oddeľovanie, spojovanie a pojenie textílií je založené na dynamickom namáhaní textílií frekvenciami v ultrazvukovej oblasti o frekvencii  $\Omega$  t.j. frekvenciami 20 kHz a vyššími. Vychádzame zo vzťahu uvedenom pri dynamickom namáhaní látok pre premenu kmitavej energie v teplo za jednu periódu  $\Delta Q$  v tvare  $\Delta Q = (\pi \sigma_0^2 / E) \sin \delta$ . Stratový činiteľ  $\sin \delta$  je pre textíliu Maxwellovho typu  $\sin \delta = E\Omega / \eta$  a pre Voigtovo textílií Voigtovo- Kelvinovho typu  $\sin \delta = \eta / E\Omega$ . Teraz prevedieme tieto výrazy pre potreby ultrazvukového oddeľovania, spojovania a pojenia (UOSP). Napät'ovú amplitúdu  $\sigma_0$  prevedieme na amplitúdu dĺžkovú ultrazvukovej sonotródy,  $A$ . Podľa Hookovho zákona je  $\sigma_0 = E A / d$ , kde  $E$  je modul pružnosti materiálu textílie a  $d$  je jej hrúbka. Po dosadení týchto hodnôt získame pre tepelnú energiu  $\Delta Q$  výraz v tvare  $\Delta Q = \pi A^2 E \Omega \sin \delta$ . A pre Maxwellovu textíliu  $\Delta Q = \pi A^2 E \Omega^2 / \eta$  [10].

Bude teda premenná ultrazvukovej energie najsilnejšie závislá na štvorci amplitúdy sonotródy,  $A$ . Ak stratový činiteľ je nízky, je možné podstatne zvýšiť tepelné straty, ak sonotróda bude pracovať v rezonančnej frekvencii, ktorá sa preniesie aj do materiálu a ultrazvukový účinok premenou v tepelnú energiu bude veľký [10].

Pre použitie ultrazvuku na oddeľovanie, spojovania a pojenie textílií boli skonštruované rady zariadení. Najväčší úspech dosiahla v tomto odbore firma Broson, ktorá okrem bežných bodových ultrazvukových zväračiek dodáva na trh aj ultrazvukové šijacie stroje a ultrazvukové pojacie stroje, ktoré sa s odstupom doby príliš nepresadili. Aj napriek tomu sa dodnes v niektorých špeciálnych úlohách ultrazvukové pojenie a spojovanie používa [10].

### 3.2. Lepenie odevných výrobkov

Lepenie odevných výrobkov je proces spojovania listov odevných materiálov rovnakých, alebo rôznych druhov, lepidlom na spojovaný materiál. Nahradzuje šitie, je to spojovanie pomocou spojovacieho prostriedku, ktorým sa môže materiál ľubovoľného zloženia spájať za studena alebo za tepla za pôsobenia patričného tlaku. Lepením sa vytvárajú spoje nerozoberateľné [5].

### 3.3. Zváranie odevných výrobkov

Technológia zvárania vyplynula z problémov, ktoré vznikali pri spojovaní syntetických materiálov s obsahom termoplastických vlákien šitím.

Zváranie teda predstavuje spojovanie dvoch a viacerých vrstiev termoplastických materiálov, výnimočné spojovanie príbuzných materiálov, pôsobením tepla a tlaku.

Zváraný spoj má rovnaké zloženie ako spojovaný materiál, tvorí s ním jednotlivý celok a je nerozoberateľný. Určitou nevýhodou je, že materiál musí obsahovať aspoň 60% termoplastických vlákien, ak má byť schopný zvárania [6].

Podľa spôsobu vzniku a privádzania tepla rozdeľujeme zváranie na:

- a) **Exotermické** (termokonduktívne), pri ktorom privádzame teplo do zváraného spoja buď z vonku alebo z vnútra.
- b) **Endotermické**, pri ktorom sa teplo vytvára v styčných plochách zváraného spoja- ide o zvárania vysokofrekvenčné a ultrazvukové [6].

### 3.3.1. Exotermické zváranie odevných výrobkov

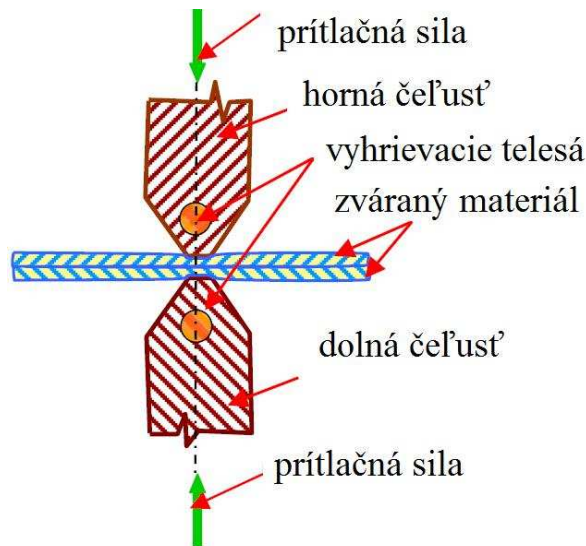
Exotermické zváranie je najstarším a najjednoduchším spôsobom zvárania termoplastických materiálov a nazývané je tiež podľa spôsobu vedenia tepla ako termokonduktívne. Je to spôsob veľmi jednoduchý a lacný.

Princípom termokonduktívneho zvárania, ako už sám názov ukazuje, je prívod potrebného tepla do spoja priamym stykom zváraného materiálu so zdrojom tepla.

Prívod tepla sa teda určuje kondukciou- vedením tepla [6].

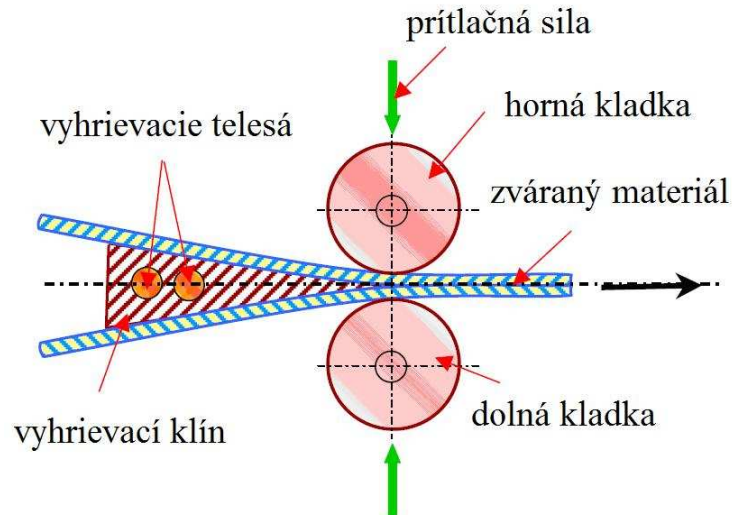
Termokonduktívne zváranie môžeme podľa spôsobu prívodu tepla k spojovanému materiálu rozdeliť na:

1. **ohrev z vonkajšej strany** (vyhrievanými elementmi)- materiál sa vkladá medzi ohrievané čeľuste, ktoré sú zdrojom tepla



Obr. č.3 Ohrev z vonkajšej strany [7]

2. **ohrev z vnútornej strany spoja** (vyhrievanými klínmi)- ohriaty materiál je privádzaný k čeľustiam a pôsobením tlaku sú materiály spojené.



Obr. č.4 Ohrev z vnútornej strany [7]



Obr. č.5 Zváranie horúcim klínom [7]

### 3.3.2. Endotermické zváranie odevných výrobkov

Pri endotermickom zváraní vzniká teplo na styčných plochách zváraných spojov. Vytvorí sa tak tavné stredisko nielen na vonkajšom povrchu, ale na stranách, ktoré majú byť vzájomne zvarené [6].

Princíp je založený na tom, že každý materiál je zložený z molekúl a tie z atómov. Presunom alebo pohybom častíc dochádza k vzájomnému treniu medzi molekulami a tým vzniká teplo. Pri veľkom pohybe, alebo pri rýchlom striedaní polarite elektrického poľa dochádza k taveniu materiálu. Pôsobením tlaku je tak možné materiál spojiť [7].

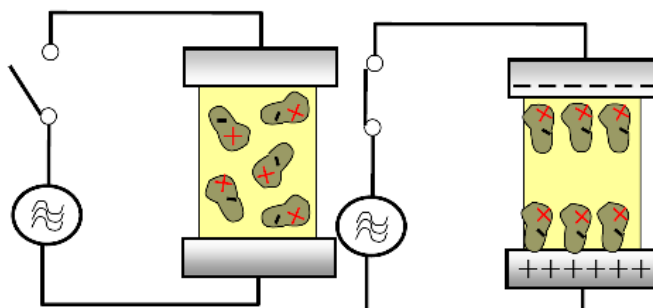
Edotermické zváranie rozdeľujeme na :



- 1. Vysokofrekvenčné zváranie** – prebieha ak vložíme elektricky neutrálny materiál do elektrického poľa, napr. medzi elektróny napojené na vysokofrekvenčný generátor, dôjde po zapojení prúdu k prerušeniu rovnováhy. Negatívne nabité častice sa posunú k pozitívnemu okraju poľa, kladne nabité častice naopak k negatívnemu okraju, pretože sa rozdielne náboje priťahujú. Hovoríme, že materiál je polarizovaný. Vnútorným trením molekúl, ktoré je spôsobené rýchlym striedaním smeru prúdu z vysokofrekvenčného zdroja, dochádza teda k ohriatiu dielektrika [6].

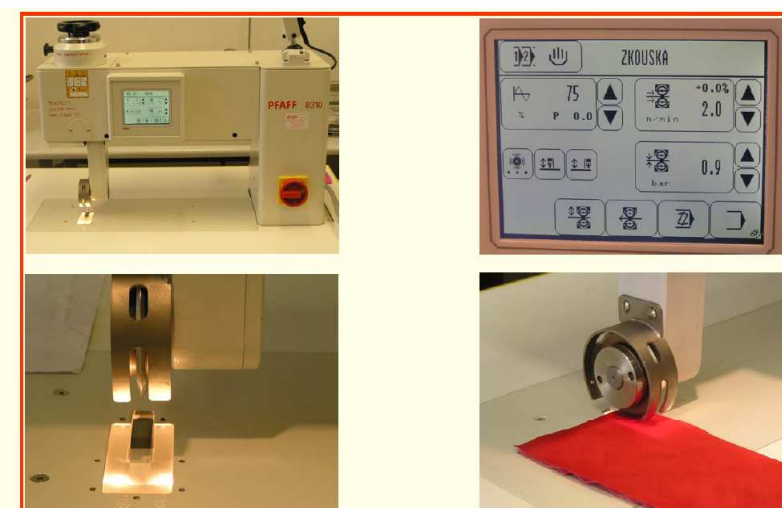
Rozoznávame dva spôsoby vysokofrekvenčného zvárania:

- a) Kontinuálne
- b) Diskontinuálne



Obr. č.6 Nepolarizovaný a polarizovaný materiál [7]

- 2. Ultrazvukové zváranie** - vid. nasledujúca kapitola



Obr. č.7 Ultrazvukové zváranie [13]

## 4. ULTRAZVUKOVÉ ZVÁRANIE ODEVNÝCH MATERIÁLOV

Ultrazvukové zváranie je spôsob spojovanie dvoch materiálov využitím ultrazvukovej energie v zváranom mieste. Zozvárané materiály sa v mieste zvaru zovrú medzi zdroj ultrazvukových vibrácií a pevnou oporou určitou prítlačnou silou, ultrazvukové vibrácie pôsobia po určitú dobu. Smer príchodu ultrazvukových vibrácií musí byť kolmý k zváranému materiálu. Absorpciou ultrazvukovej energie, pohybom a trením molekúl vzniká v mieste zvaru teplo, ktoré roztaví syntetický materiál, tak že pretečie medzi spojované súčasti. Po vychladnutí je materiál spojený [6].



Obr. č.8 Stroj na ultrazvukové zváranie [13]

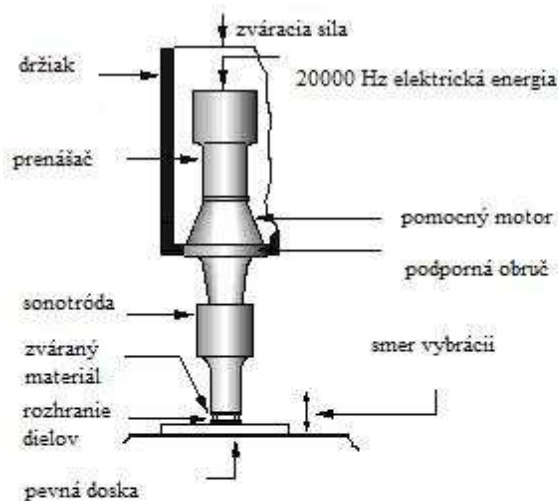
### 4.1. Princíp ultrazvukového zváranie termoplastov

Pre ultrazvukové zváranie sú najvhodnejšie čiastočne kryštalické (PP, PET, PE, PA) a amorfné (PC, PS, ABS a butadiénové styreny) plastové materiály, niekedy aj ich kombinácia. Spojované diely sú založené do prípravku tak, aby sa navzájom dotýkali zváranými plochami. Generátor zväračky vytvorí elektrické kmity ultrazvukových frekvencií, ktoré sú transformované na kmity mechanické a cez nástroj sú privedené na

miesto budúceho spoja. Prenos ultrazvukových kmitov do miesta spojenia zaist'uje prítláčna sila. Kmitanie rozpohybuje molekuly spojovaného materiálu a ich vzájomným trením vzniká teplo, ktoré spoj lokálne ohrieva. Spojované diely potom v mieste styku plastifikujú. Táto reakcia sa sama od seba začne urýchľovať, pretože vplyvom prírastku tlmiacich faktorov plastifikovaného materiálu sa stále väčší podiel vibračnej energie premieňa na teplo. Plastifikované diely sú potom do seba pôsobením prítláčnej sily natlačené tak, že ich molekuly do seba navzájom zatečú.

Po ukončení prívodu ultrazvuku je potrebná krátka ochladzovacia fáza pri ešte existujúcom spojovacom tlaku, aby sa predtým plastifikovaný materiál mohol spevniť. Potom je možné pomocou ultrazvukovej energie spojené diely, resp. materiálové časti ďalej spracovávať. Kvalita a pevnosť spoja sú závislé na dobe pôsobenia ultrazvukových vibrácií, amplitúde kmitania, prítláčnej sile a pracovnej frekvencii.

Pôsobením kmitov aj prítláčnej sily sa deje kolmo na spojované plochy. Smer pôsobenia kmitov je najväčším rozdielom zvárania plastov oproti zváraniu kovov, kde ultrazvuková energia pôsobí na spoj v smere spojovaných plôch a v smere kolmom pôsobí iba prítláčna sila [22, 23].



Obr. č.9 Ultrazvukový zvárací systém pre spojovanie termoplastických materiálov [11]

#### 4.2. Parametre ovplyvňujúce kvalitu spoja

V súlade s obecnými princípmi využitia ultrazvuku v oblasti vysokých výkonov sa pre zváranie najčastejšie používa frekvencia 20 kHz, menej potom frekvencia 10 kHz (zariadenia sú hlučné, alebo pracujú v počuteľnom frekvenčnom spektre) a 35 kHz (pre malé spoje a menšie série, výnimočne aj iné [21]).

Kvalita a pevnosť spoja závisia na dobe pôsobenia ultrazvukových vibrácií, amplitúde kmitania, prítláčnej sile a pracovnej frekvencii.

**Doba pôsobenia ultrazvukových vln** je závislá na ostatných parametroch zvárania, ale z hľadiska produktivity práce sa ju snažíme skrátiť. Je závislá na požadovanom tepelnom efekte potrebnom k roztaveniu zváraných materiálov, teda na energii privádzanej do zváraného miesta [6].

**Amplitúda kmitania** je udávaná polovičným rozkmitom zváracieho nástroja v bezprostrednej blízkosti zváracieho miesta. Vyvoláva pohyb a trenie molekúl, čím vzniká teplo potrebné k roztaveniu materiálu. Veľkosť amplitúdy je daná výkonom ultrazvukového zdroja a transformáciou prenosových článkov. Transformáciou prenosových článkov sa dá zvyšovať veľkosť amplitúdy až na hranicu pevnosti materiálu nástroja. Pri požadovanej určitej ploche zvaru sa dá zväčšovať amplitúda len zvyšovaním ultrazvukových vibrácií. Veľkosť amplitúdy sa pohybuje v rozmedzí 10 – 30  $\mu\text{m}$  [6].

**Prítláčná sila** zaisťuje prenos ultrazvukových kmitov do miesta spojenia, kde absorpciou ultrazvukovej energie nastáva zahriatie materiálu a stav plastického tečenia. Najväčšie teplo vzniká pozdĺž dotykových plôch oboch súčastí, pričom sa rýchlejšie ohrieva súčasť, ktorá je v styku so zváracím nástrojom. Veľkosť prítláčnej sily závisí na vlastnostiach zváraných materiálov a na ploche zvaru. Príliš veľké prítláčné sily utlmujú kmitáciu sústavu, alebo majú za následok poškodenie zváraných materiálov. Prítláčná sila má vplyv na kvalitu spoja a v niektorých prípadoch je vhodné jej programové riadenie v závislosti na zváracom čase. Zvýšenie prítláčnej sily po skončení zvárania má v niektorých prípadoch podstatný vplyv na kvalitu spojenia [6].

**Frekvencia** je daná použitým meničom, tvarom a rozmermi prenosových článkov a použitým ultrazvukovým generátorom. Pri zváraní textílií s obsahom syntetických materiálov sa používa frekvencia 15 až 60 kHz. Pri danom akustickom výkone je možné priviesť do zváraného miesta určité množstvo energie nižšej

frekvencie a vyššej amplitúdy, poprípade opačne. Pracovné frekvencie sú obmedzené tiež rozmermi zvaracieho nástroje. Ak je dĺžka čela nástroja porovnateľná s polovičnou dĺžkou pozdĺžneho vlnenia, nastáva vplyvom vzniku priečných vĺn nerovnomerné rozdelenie amplitúdy na čele nástroja [6].

Na kvalitu spoja má vplyv v značnej miere i materiál a rozmery pevnej opory. Materiál pevnej opory- nákovia má vplyv na rýchlosť vzniku tepla v zváranom mieste (pomalší alebo rýchlejší odvod tepla v zváranom mieste) a spolu s rozmermi má vplyv na tlmenie kmitov [6].

#### **4.3. Výhody a nevýhody ultrazvukového zvarovania odevných materiálov**

##### **Výhody ultrazvukového spojovania :**

- pevný spoj
- úspora času
- energetická efektívnosť
- odpadá spojovací materiál
- jednoduché automatické výrobné montážne linky
- vysoká produktivita s nízkymi nákladmi
- bez ihl, cievok [14]
- jednoduché zvarovania malých polomeroch
- vysoký komfort nosenia vďaka hladkému švu
- možnosť dosiahnutia vzduchotesných a vodotesných švov v závislosti na použitom materiáli a typu kolieska [12]
- možnosť rôzneho vzhľadu spoja (rôzna štruktúra kovádky)
- endotermický spôsob prívodu tepla (odpadá horúci klín)

##### **Nevýhody ultrazvukového spojovania:**

- jednotlivé parametre sa musia individuálne nastavovať pre každý materiál a pre každý druh operácie.
- nerozoberateľný spoj
- vysoké zaobstarávacie náklady
- nie je možné zväť materiály s nižším obsahom syntetických vlákien [5]

#### 4.4. Materiály používané na ultrazvukové zvárania

Ultrazvukové zváranie je možné použiť pri spojovaní všetkých textílií s dostatočným množstvom termoplastických látok (min. 60% PL, PP, PVC, PET, PE). Musia sa dostať do plastického alebo kaučukového stavu. Zvárateľnosť je však ovplyvnená objemovou hmotnosťou. Materiály s vysokou hustotou a malou plošnou hmotnosťou sa zvárajú obtiažnejšie a pevnosť ich spoja býva nízka. Taktiež materiály s veľkým zákrutom priadzí sa zvárajú obtiažnejšie. Na pevnosť zvaru má tiež vplyv väzba [5, 18].

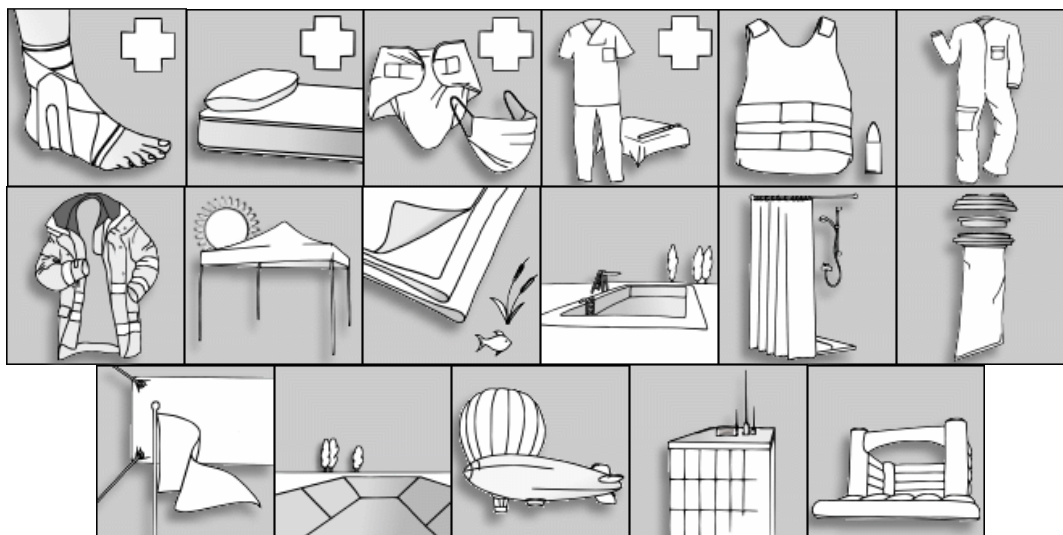
#### 4.5. Použitie ultrazvukového zvárania v priemysle

Ultrazvukové zváranie je moderné, pokrokové a je doplnkom konvenčnej technológie šitia. Základné výhody ultrazvukových spojov sú rýchle, silné, čisté a spoľahlivé zvary a sú spoločné pre všetky oblasti. Avšak, každá oblasť má špecializované potreby, ktoré sa opierajú o ultrazvukové spojovanie [11].

Ultrazvukové spojovanie sa používa pri spracovaní odevov ale i technických konfekcií a technických textílií. Ultrazvukom môžeme spájať plasty v akejkoľvek podobe - tkaniny, pleteniny i netkané textílie. V súčasnej dobe sa bežne ultrazvukové spojovanie používa pri výrobe nasledujúcich výrobkov.

##### Oblasť technických textílií

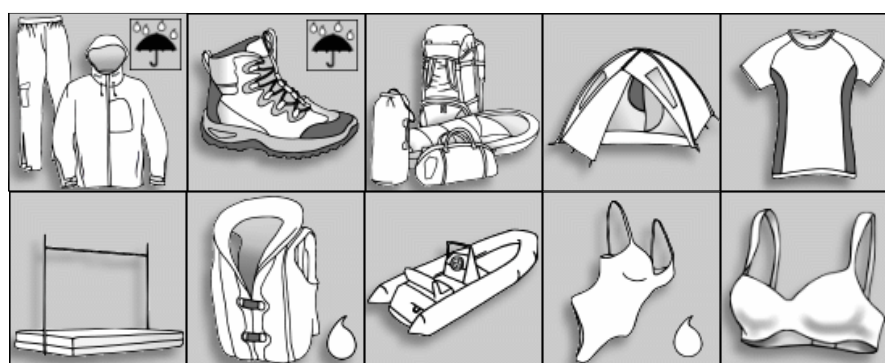
- Výroba filtrov pre rôzne aplikácie – vreckové a skladané filtre, filtre do vysávačov
- Výroba zdravotníckych a hygienických pomôcok ako sú zdravotnícke matrace a vankúše, sanitárne potreby - inkontinentné plienky, rúška atď., odevy pre zdravotnícke personál (jednorázové) a textilné vybavenie operačných sál
- Výroba ochranných pracovných odevov
- Výroba roliet a markýz, stanových prístreškov, závesov do sprchových kútov, izolácií
- Výroba tiel vzducholodí a ďalšie



Obr. č.10 Použitie ultrazvukového zvárania v oblasti technických textílií [12]

### Oblasť výroby odevov

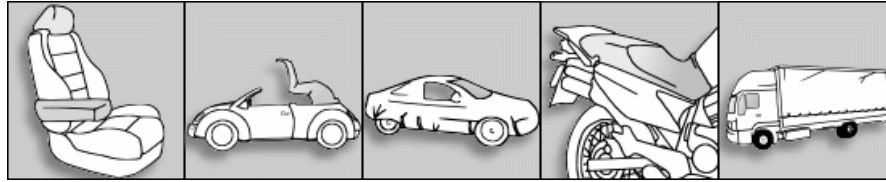
- Vybavenie pre outdoor a šport- všívanie nepremokavých zipsov do športových odevov, batohov, spacákov, stanov, záchranných viest a nosítok pre horskú službu, zhotovenie nepremokavých švov, zváranie plaveckých plutiev, výroba lyžiarskeho viazania
- Výroba bezšvového spodného prádla
- Výroba plaviek a ďalšie



Obr. č.11 Použitie ultrazvukového zvárania v oblasti výroby odevov [12]

### Oblasť automobilového priemyslu

- Výroba ochranných plachiet na autá
- Rolety a tienidlá do automobilov
- Plachty na návesy nákladných aut



Obr. č.12 Použitie ultrazvukového zvarovania v oblasti automobilového priemyslu [12]

#### 4.6. Spôsoby ultrazvukového zvarovania

Podľa spôsobu tvorby spojenia a podľa tvaru zvarovania rozoznávame tri systémy ultrazvukového zvarovania:

**1. bodové** - celý zvar v požadovanom tvaru sa tvorí naraz, zvarovanie nevyžaduje žiadny prídavný ohrev, čistota povrchu nie je dôležitá, tvar zvaru je daný tvarom koncovky zváracieho nástroja.

Použitie: pre maloplošné zvary, gombíkové dierky, uzávierky, pripevňovanie etikiet.

**2. kontinuálne (švové)** - vytvára súvislý priamočiary alebo krivočiary zvar, zvárací nástroj má tvar kotúča, odval'ovaním kotúča po materiály vzniká švový zvar, ktorý nahrádza zošitie súčastí.

Použitie: vzhľadom k vysokej cene je toto zariadenie ekonomicky nevýhodné.

**3. kvázikontinuálne (postupné)** - je rada bodových zvarov idúca za sebou, jedná sa o tzv. švový prerušovaný spoj, jednotlivé zvary tvoria veľmi malé plochy asi 2 až 4 mm<sup>2</sup>, rýchlosť v rozsahu 10 – 15 m/s.

Použitie: spojovanie veľkých odevných dielov, ozdobné stehovanie [5]

#### 4.7. Ultrazvuková technika

Ultrazvuková technika sa delí na dva obory:

- vybudenie ultrazvukových vln
- využitie mechanických vibrácií týchto vln

Ako ultrazvuk sa označujú vlny medzi 18 a 500 kHz, u väčšiny strojov založených na tomto princípe prichádza do úvahy kmitanie od 20 do 100 kHz.

Ultrazvuk je možné vyvodzovať tromi spôsobmi:



1. na mechanickom princípe rozrušovania vzduchového stĺpca
2. mechanickým regulátorom a motorovým pohonom
3. elektrickým spôsobom t.j. zmenou elektrického kmitania na mechanické

Práca s ultrazvukom je rýchla, čistá, bezpečná, veľmi hospodárna. Prednosťou tohto spôsobu zvarovania je, že pri dosiahnutí teploty topenia odevného materiálu ustane trenie a materiál sa termicky nepreťažuje. To je dôležité predovšetkým u PVC a PA, ktoré sa pri vyššej teplote rozkladajú [5].

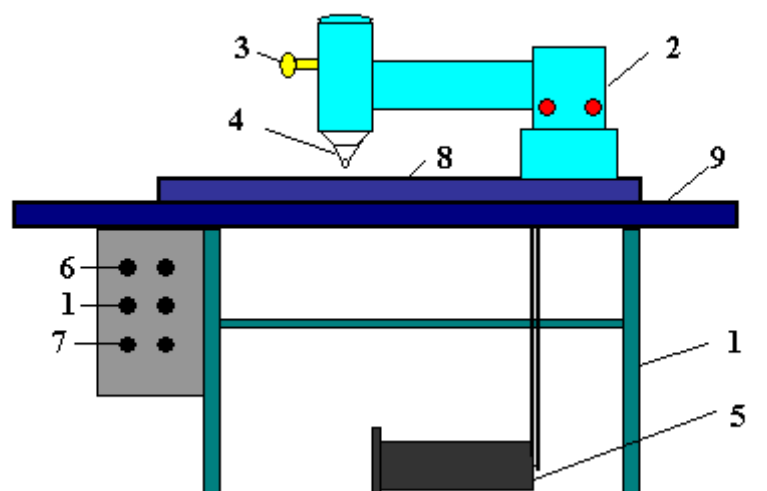
#### 4.8. Schéma zvaracieho stroja

Zvarací stroj je možné popísať dvomi funkčnými schémami:

- pre stroje tvarovo podobné šijacím strojom
- pre špeciálnu konštrukciu strojov

Tým je možné vystihnúť skupiny strojov pre vysokofrekvenčné zvarovanie a ultrazvuk. Funkčnú schému pre exotermické zvarovanie nie je možné vzhľadom k rôznorodosti zariadenia vytvoriť [6].

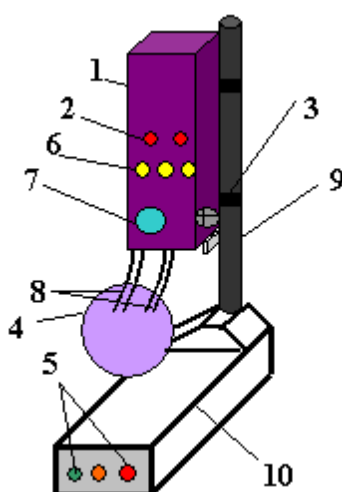
Pre stroje tvarovo podobné šijacím strojom je možné vyjadriť funkčnú schému podľa obr. č.13. Zo schémy je zrejmé, že hlavnou súčasťou je energetický zdroj 1, ktorý je možné regulovať 2, a riadiť výšku nastavenia 3 zvaracieho elementu 4. Pedálom 5 sa ovláda stroj, tak ako u šijacieho stroja. Je zrejmé, že túto schému je možné použiť pre oba spôsoby endotermického zvarovania. Ako energetický zdroj môže pri vysokofrekvenčnom zvarovaní slúžiť vysokofrekvenčný agregát. V hlave stroja je tiež umiestnené zariadenie k ochladzovaniu popr. vyhrievaniu zvaracieho elementu a mechanické zariadenie pre jeho prítlak. Na energetickom zdroji je upevnený mechanizmus pre nastavovanie veličín 6 a meradla 7. Pracovná doska stroja 9 je v rovnakej úrovni ako doska základová 8, ktorá je na podstavci stroja 10 [6].



Obr. č.13 Funkčná schéma zváracieho stroja (obdoba šijacieho stroja)

[5]

Stroj špeciálnej konštrukcie ukazuje schéma na obr. č.14. Tento typ konštrukcie je v prevedení stojanovom alebo stolnom a má energetický zdroj (vysokofrekvenčný popr. ultrazvukový generátor) 1 zabudovaný v hlave stroja, na ňom je umiestnené nastavenie veličín 6, regulácia 2, a meradlá 7. Hlava stroja je umiestnená na stĺpci 9, po ňom sa skrutkou posunuje výška nastavenia 3. Zvárací element má zvláštne prípoje na vedenie elektrického prúdu a chladiaceho vzduchu 8. Ovládacie zariadenie 5 je umiestnené na základovej doske 10. [6]



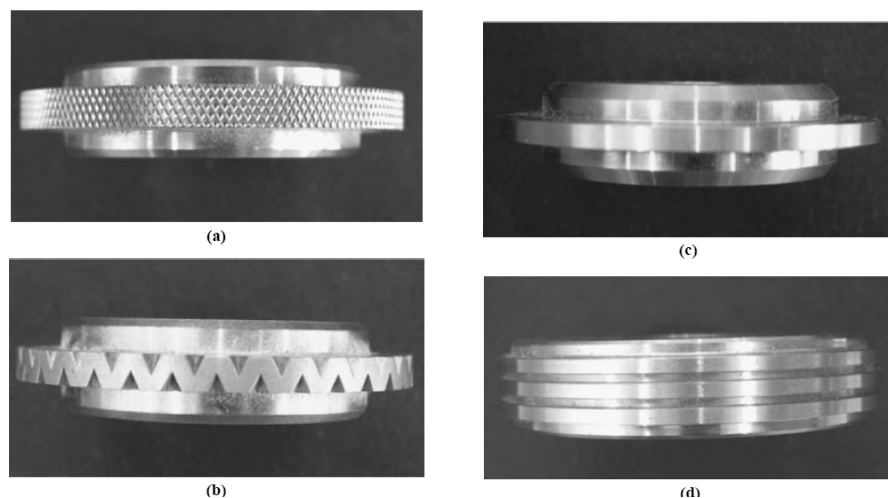
Obr. č.14 Funkčná schéma špeciálnej konštrukcie zváracieho stroja

[5]

#### 4.8.1. Ultrazvukový zvarací stroj PFAFF 8310

Ultrazvukový zvarací stroj s 400W ultrazvukovým generátorom a frekvenciou 30kHz má podobu šijacieho stroja. Ovláda sa pomocou pedálu, ktorý má tri ovládacie polohy (spúšťanie prítlačného kolieska dolu, začiatok spojovania a koniec spojovania).

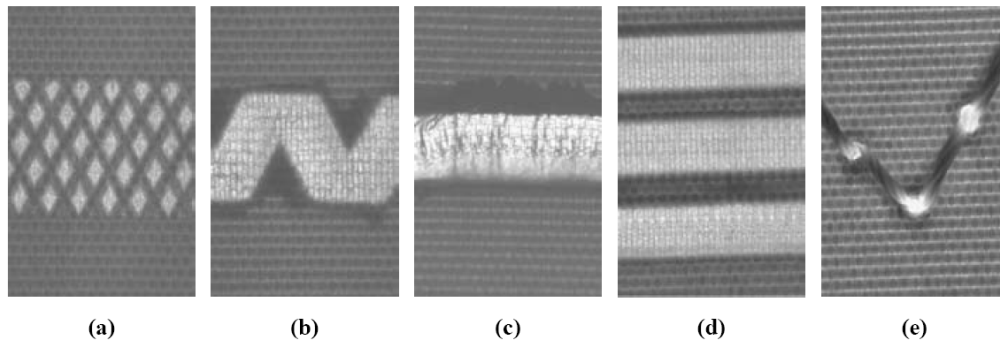
Pracovný nástroj je zložený z rotačného prítlačného kolieska na ktoré je z hornej časti hlavy stroja privedená ultrazvuková energie a z točivého titánového kolieska v spodnom ráme. Sonotródy vyrobené z titánu majú priemer 104 mm a maximálnu zvaráciu šírku 10 mm. Zvaracia rýchlosť sa pohybuje od 0,5 do 10 m/min, zvarací tlak od 0 do 5 bar a amplitúda 50 – 100%. Parametre sa nastavujú prostredníctvom dotykového panelu Digital PLC control. Vzdialenosť medzi sonotródou a kolieskom sa dá regulovať. Horné koliesko má priemer 65mm, šírka a tvar môžu byť podľa prania zákazníka. Vzhľad ultrazvukom zváraných švov závisí na vzore kolieska (obr. č.15) [8].



Obr. č.15 (a) koliesko s bodovou rytinou, (b) s cik-cak rytinou, (c) s jednou líniou, (d) s tromi líniami [8]

Tento stroj sa používa k :

- spojovaniu seam
- k procesu cut and seal



Obr. č.16 (a)ultrazvukový spoj s kolieskom typu (a), (b) ultrazvukový spoj s kolieskom typu (b), (c) ultrazvukový spoj s kolieskom typu (c), (d) ultrazvukový spoj s kolieskom typu (d), (e) klasický spoj [8]

### Technické parametre stroja Pfaff 8310

#### Parametre spojovania:

- zvarací tlak až 800N
- hrúbka spojovacieho materiálu musí byť  $>50 \mu\text{m}$
- rýchlosť pojenia 0,5 – 10 m/min
- šírka švu 2-10mm
- vzdialenosť medzi prítlačným a titánovým kolieskom v priebehu pojenia môže byť 0 – 2 mm, jemnosť nastavenia 1/50 mm pomocou manuálneho kolieska
- spojovacia frekvencia 35 kHz, možnosť nastavenia výkonu 50- 100% (500W)

#### Požiadavky na energiu

- požadované napätie v sieti  $230 \text{ V} \pm 10\%$
- spotreba elektrickej energie 800 kVA
- výkon až 500W
- pracovný tlak stlačeného vzduchu 6 bar
- spotreba stlačeného vzduchu  $< 10 \text{ l/min}$

#### Rozmery stroja

- hĺbka 600 mm
- šírka 1250 mm
- výška 1300 mm
- hmotnosť 145 Kg

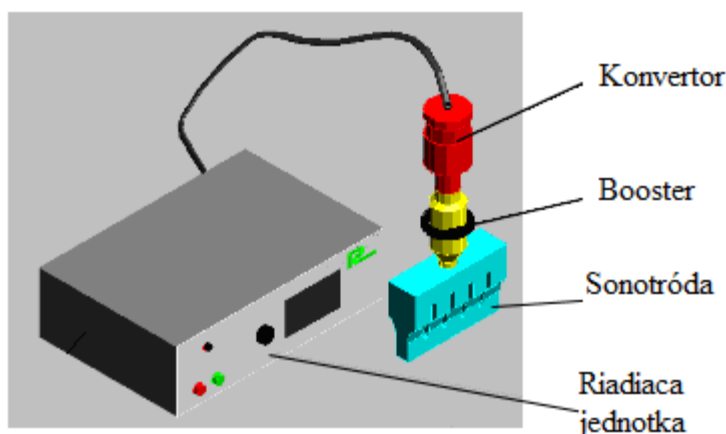
Pre výrobu kde je potrebné šiť zložité tvary alebo ostré uhly ponúka firma Pfaff stroj 8310 vo verzii so spojovacím kolieskom menšieho priemeru, teda 30 mm. V prípade, že stroj nie je rozšírený o funkciu Cut&Seal, spodné koliesko nie je hladké, ale má hrubý, zrnitý povrch. V tomto prípade nastáva zásadná zmena tiež v spôsobe prívodu ultrazvukovej energie, ktorá nie je privedená na horné prítlačné koliesko, ale naopak je zdrojom energie koliesko spodné [12].

#### 4.8.2. Ultrazvukový zvarací proces

Ultrazvukový zvarací stroj sa skladá zo štyroch hlavných častí:

1. Zdroja
2. Konvertora
3. Amplitúdy (bežne nazývanej Booster)
4. Sonotródy

[11]



Obr. č.17 Komponenty ultrazvukovej zvaračky [25]

**Konvertor** má konverznú funkciu, prevádza elektrickú energiu do vysokofrekvenčných mechanických vibrácií.

**Booster** je používaný pre zvýšenie, alebo zníženie amplitúdy kmitania sonotródy.

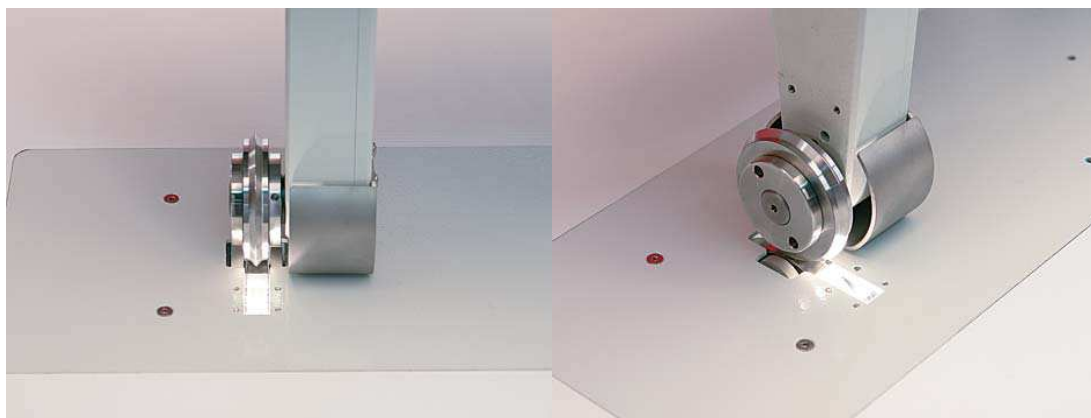
**Sonotróda** je nástroj, ktorý prevádza vibračnú energiu do spracovávaného dielu. [25]

Sila napájania hlavného elektrického prívodu o frekvencii 50 – 60kHz a dodávka elektrickej energie pri prevádzke na vysokej frekvencii 20, 30 alebo 40kHz. Táto elektrická energia je dodávaná do konvertora. V rámci konvertora, sú disky z

piezoelektrického materiálu upnuté medzi dve kovové časti. Konvertor mení elektrickú energiu na mechanickú energiu, na ultrazvukové vibračné frekvencie [11].

Vibračná energia je potom prenášaná cez booster, ktorý zvyšuje amplitúdu zvukovej vlny. Zvukové vlny sú potom prenášané na sonotródu. Sonotróda je akustický nástroj, ktorý prevádza vibračnú energiu priamo na časti a to platí aj pre zváranie tlakom. Vibrácie sú prenášané cez opracovanú časť do spoločného priestoru. Tu je vibračná energia premenená na teplo trením - taví termoplasty, a spája časti [11].

Výhody tohto procesu zahŕňajú: energetickú efektívnosť, vysokú produktivitu s nízkymi nákladmi a ľahkú montáž automatickej výrobnéj linky. Hlavným obmedzením tohto procesu je, že maximálna dĺžka súčasti, ktoré možno zvärať jednou sonotródou je približne 250 mm. To je spôsobené obmedzením schopnosti výkonu jedného snímača, neschopnosť sonotród prenášať veľmi vysoký výkon, a ťažkosti kontroly amplitúdy vzhľadom k tomu, že spoje tejto dĺžky sú porovnateľné s vlnovou dĺžkou ultrazvuku [11].



Obr. č.18 Pohľad na sonotródu a koliesko ultrazvukového zváracieho stroja

PFAFF 8310 [13]

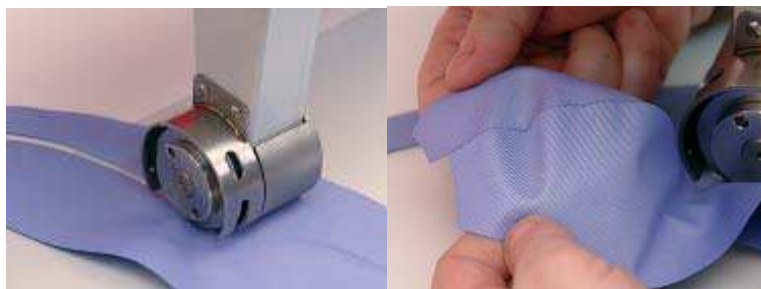
### **Cut & Seal**

Ultrazvukový zvárací stroj 8312 CS a 8310 CS je kombináciou operácií rezania a spájania ultrazvukom.

#### PFAFF 8312 CS

Hlavnou výhodou tohto stroja sú dva výrobné procesy v jednom toku Cut & Seal, minimálna šírka švu (mikrošev) s vysokou pevnosťou, vysoký komfort pri nosení

a hladký a neaplykovateľný šev až po spojení s páskou s PFAFF 8303 alebo PFAFF 8330 [13].



Obr. č.19 Cut & Seal PFAFF 8312 CS [13]

#### PFAFF 8310 CS dual

Novo vyvinuté riešenie dvoch koliesok je unikátnou doplnkovou funkciou pre PFAFF 8312 CS. Podnetom k tomu boli požiadavky z automobilového a odevného priemyslu. Presnú vzdialenosť medzi okrajom rezu a zváraným švíkom zabezpečuje maximálne riadenie procesu. 8310 SK dual zabezpečuje spojenie a orezanie okraja materiálu. Hlavné výhody sú všetky výhody uvedené v PFAFF 8312 CS, zabezpečuje optimálnu kvalitu švu, tlak oboch kolies je upravený osobitne a vzdialenosť okraja k zváranému švu je vždy 100% [13].



Obr. č.20 Cut & Seal PFAFF 8310 CS dual [13]

## 5. EXPERIMENTÁLNA ČASŤ

Cieľom diplomovej práce bolo skúmať spojovanie tkanín klasickým spôsobom a pomocou techniky ultrazvukového zvarovania s nasledujúcimi spojovacími parametrami: pevnosť spoja a rýchlosť zvarovania. Boli použité tkaniny s rôznym materiálovým zložením (tabuľka č.1). Objektívne hodnotenie kvality a pevnosti spoja bolo vykonávané na stroji na skúšanie pevnosti v ťahu- Labtest 2.5x, kde bola stanovená hodnota pevnosť. Pevnostné skúšky boli vykonané aj na vzorkách po prvom, treťom a piatom praní. Pre porovnanie boli použité dva typy švov a to preplátovaný a chrbátový.

### 5.1. Charakteristika použitých materiálov

Tabuľka č.1 Štruktúrne vlastnosti tkaniny

Referenčné označenie	Materiálové zloženie v %	Väzba	Plošná hmotnosť g/m <sup>2</sup>	Hrúbka v mm	Dostava na 10cm	Pevnosť /N/ 200x50mm
						osnova
1	100PL	Keper	247	0,50	360x270	740
2	98PL/2VI	Keper	204	0,56	280x240	830
3	92PL/8VI	Keper	202	0,59	230x190	690
4	84PL/16VI	Plátno	336	0,67	220x170	860
5	70PL/30VI	Keper	377	0,90	230x170	840
6	65PL/35VI	Keper	224	0,33	630x440	810

### 5.2. Použité zariadenia

V experimentálnej časti predloženej diplomovej práci bol na spojovanie vybraných materiálov použitý stroj Pfaff 8310. Vzorky materiálov spojených pomocou tohto stoja boli ďalej hodnotené na stroji na skúšanie pevnosti v ťahu- Labtest 2.5x.



### 5.2.1. PFAFF 8310

Kontinuálny ultrazvukový zvarací stroj typ Seamsonic kombinuje fyzické výhody technológie ultrazvukového zvarania s reálnymi požiadavkami na aplikácie jedinečným spôsobom. Pre účel diplomovej práce boli vzorky spojené s Pfaff 8310 Seamsonic ultrazvukový zvarací stroj s 400 W ultrazvukovým generátorom a frekvenciou 30 kHz. Sonotródy sú vyrobené z titánu, s priemerom 104 mm a maximálnou šírkou zvaru 10 mm. Zvaracia rýchlosť sa pohybuje od 6 do 136 m/min a zvarací tlak 0 - 800 N (5 bar). Vzdialenosť medzi sonotródou a kolieskom môže byť regulovaná. Vzhľad ultrazvukom zvaraných švov, t.j. dojem vyrytého vzoru, závisí na tvare nákovy kolies.

V predloženej práci boli použité 4 typy koliesok. Ultrazvukové zvaranie pomocou týchto typov koliesok bolo realizované s nasledujúcimi parametrami:

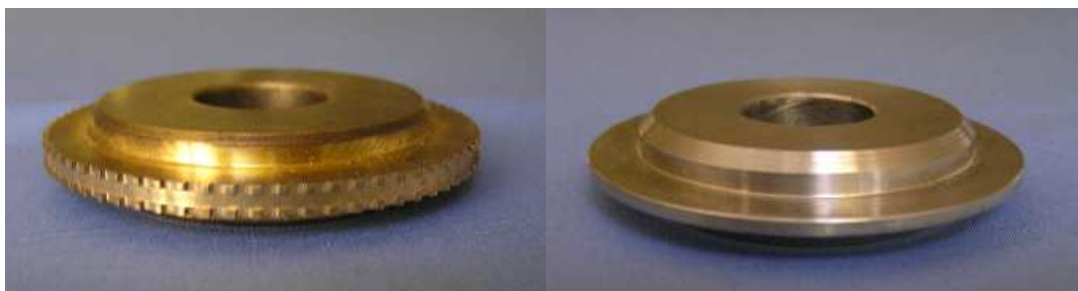
- koliesko typu A, B, C : amplitúda=70%, rýchlosť zvarania  $v_1=1,0$  m/min,  $v_2=2,0$  m/min,  $v_3=3,0$  m/min (pre všetky druhy materiálov), vzdialenosť medzi sonotródou a kolieskom 0,14 mm, tlak 2 bar
- koliesko typu D: amplitúda = 50%, rýchlosť zvarania  $v_1=1,0$  m/min,  $v_2=1,5$  m/min,  $v_3=2$  m/min (pre všetky druhy materiálov), tlak 2 bar, vzdialenosť medzi sonotródou a kolieskom 0,14 mm a pre rýchlosť  $v=1$  m/min je táto vzdialenosť 0,22 mm



A

B

Obr. č.21 Typy koliesok A,B [24]



C

D

Obr. č.22 Typy koliesok C,D [24]

### 5.2.2. Trhací prístroj Labtest 2.5x

Trhací prístroj LabTest 2.05 je stroj pre meranie pevnosti a ťažnosti plošných textílií, šijacích nití a vlastností švov odevných výrobkov (posuvnosť nití vo šve, pevnosť a ťažnosť švu, cyklické namáhanie, a pod.).

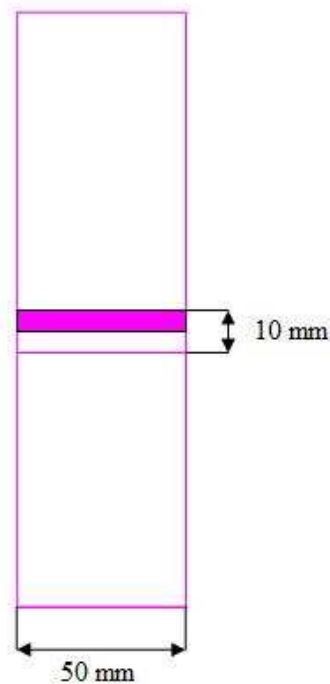
Pohyblivý priečnik rozdeľuje rám na dva pracovné priestory- horný a spodný. Silomerný snímač umiestnený na hornom pevnom priečniku má menovité znížený ťah/tlak do 100 N a silomerný snímač umiestnený na dolnom pohyblivom priečniku má menovité zaťaženie ťah/tlak do 2500 N.

#### 5.2.2.1. ČSN EN ISO 13934 -1 (80 0812) Zisťovanie maximálnej sily a ťažnosti pri maximálnej sile pomocou metódy Strip

Táto metóda bola použitá pre vzorky spojované pomocou ultrazvuku.

Rozmery vzoriek spojovaných pomocou ultrazvuku:

- pre metódu Strip - šírka 50 mm a dĺžka 200 mm upínacia + pre upnutie do čelústí



Obr. č.23 Rozmer ultrazvukom spojenej vzorky pre trhačku

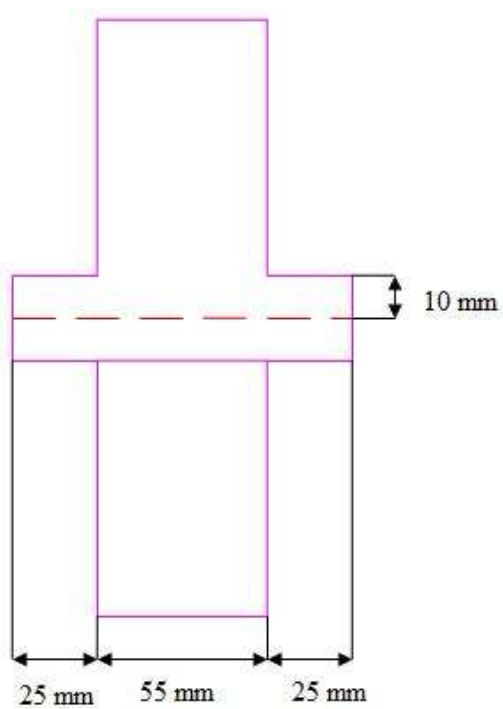
#### 5.2.2.2. ČSN EN ISO 13935-1 (80 0841) Zisťovanie maximálnej sily do pretrhu švu metódou Strip

Táto metóda bola použitá pre vzorky spojované pomocou klasického šitia.

Rozmery vzoriek spojovaných klasickým šitím:

pre metódu Strip - dĺžka 200 mm upínacia + pre upnutie do čeľustí

Vzorka klasického šitého švu má na rozdiel od ultrazvukového švu pre trhačku na oboch stranách o 25 mm viac. To je spôsobené tým, že pri klasickom šití je pre zaistenie švu proti páraníu potrebné uzašitie. Keďže je materiál najprv ušitý v celku a potom sa nastreďá na rozmery dané pre trhačku, nie sú konce stehov uzašité. Preto je potrebné prinechať 25 mm na oboch stranách, aby bolo možné objektívne určiť pevnosť švu.



Obr. č.24 Rozmer vzorky spojenej klasickým šitím pre trhačku

### 5.3. Výsledky vyhodnotenia pevnosti preplátovaného švu spojeného pomocou ultrazvukového zvarovania a klasickým šitím

Na vytvorenie švu pomocou ultrazvukového zvarovania boli použité 4 typy koliesok vid. obr. č.20,21. Pomocou prístroja LabTest 2.05 a normy ČSN EN ISO 13934 -1 (80 0812) metódou Strip sme zisťovali silu pri pretrhnutí ultrazvukom spojených švov čiže maximálnu silu zaznamenanú v bode pretrhu skúšaného vzorku v priebehu ťahovej skúšky. Pre klasické šitie bola použitá norma ČSN EN ISO 13935-1 (80 0841). Z nameraných dát sme vypočítali aritmetický priemer a vyhodnotili pomocou grafov.

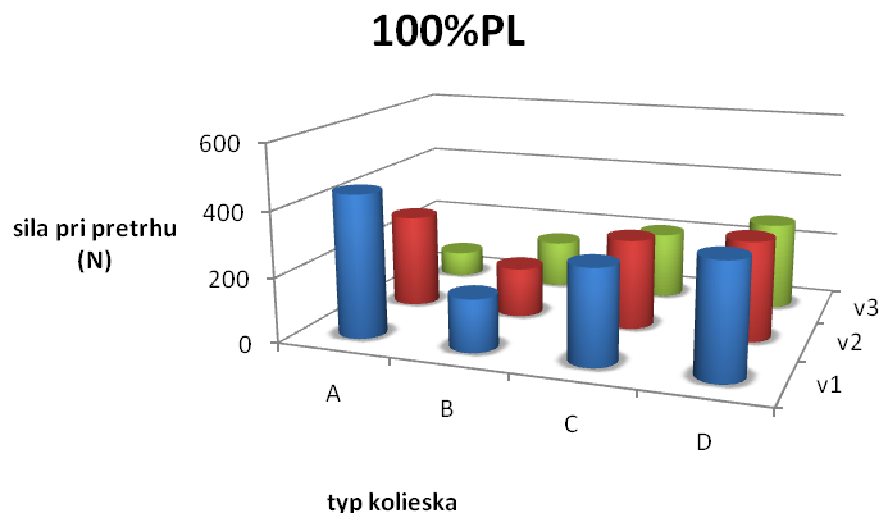
Tabuľka č.2 Pevnosť ultrazvukom zvarovaného preplátovaného švu s použitím štyroch typov koliesok (F,N)

Typ spoja	Ultrazvukový spoj s kolieskom typu A			Ultrazvukový spoj s kolieskom typu B			Ultrazvukový spoj s kolieskom typu C			Ultrazvukový spoj s kolieskom typu D		
A, %	70			70			70			50		
V, m/min	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	1,5	2
1	442	289	80	162	154	148	292	278	209	348	308	272
2	433	223	93	97	93	80	197	186	84	320	289	240
3	144	142	30	67	52	40	95	89	56	160	144	136
4	407	394	75	86	82	65	167	125	119	402	365	309
5	416	306	24	132	128	121	239	174	137	426	403	274
6	365	159	15	108	86	79	166	164	88	309	266	217

Tabuľka č.3 Pevnosť šitého preplátovaného  
švu

Referenčné označenie	Pevnosť švu [N]
1	229
2	228
3	194
4	231
5	222
6	212

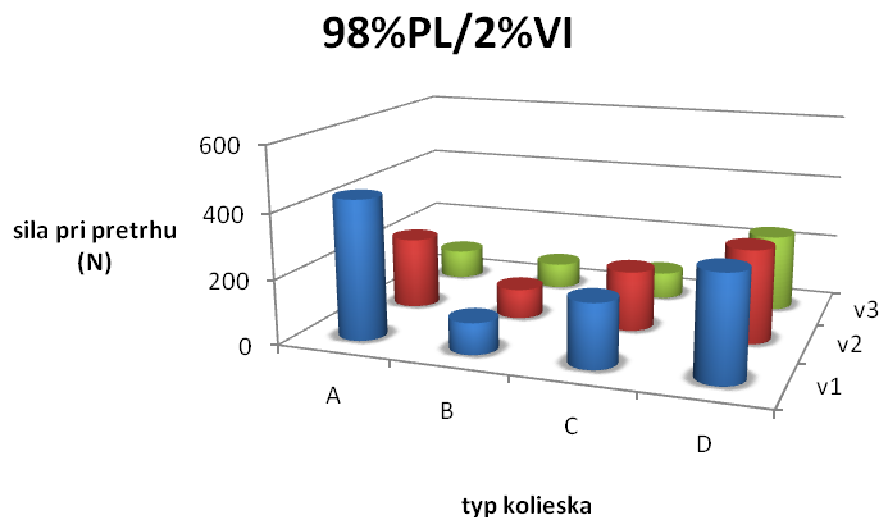
V nasledujúcom texte je uvedené grafické znázornenie stanovených výsledkov pevnosti preplátovaného švu pri ultrazvukovom zváraní a klasickom šití a komentár k dosiahnutým výsledkom.



Graf č.1 Závislosť pevnosti ultrazvukom zváraného švu na rýchlosti zvárania pre 100%PL

Graf č.1 ukazuje, že pevnosť v ťahu na vzorke 1 (100%PL) pri ultrazvukovom zváraní s použitím 4 typov koliesok sa pohybuje v rozmedzí od 80 – 442N. Najvyššia pevnosť v ťahu je pri použití kolieska typu A pri zváracíj rýchlosti  $v1=1$  m/min a amplitúde  $A=70\%$  a najnižšia taktiež pri použití kolieska typu A, amplitúde  $A=70\%$ , ale pri rýchlosti zvárania  $v3=3$  m/min. Pri použití kolieska typu B nie je veľmi výrazný rozdiel medzi pevnosťami v ťahu pri použití rôznych rýchlostí, ale na rozdiel od kolieska typu A je pevnosť pri  $v1=1$  m/min nižšia takmer o 70%. Kolieska typu C a D majú približne rovnaké hodnoty aj napriek tomu, že pri type D sú použité iné zváracie rýchlosti a amplitúda, čo bolo spôsobené vzorom kolieska. Druhá najlepšia pevnosť je zaznamenaná pri použití kolieska typu D a zváracíj rýchlosti  $v1=1$  m/min.

Tam, kde boli zaznamenané najvyššie hodnoty pevnosti (typ kolieska A a D a zváracia rýchlosť  $v1=1$  m/min ) došlo k poškodeniu švu aj tkaniny. Pri najvyšších rýchlostiach všetkých typov koliesok nedochádzalo k poškodzovaniu tkaniny, ale iba k rozdeleniu švu. Pri kolieskach typu B a C nedošlo k žiadnemu výraznému poškodeniu tkaniny pri ani jednej použitej rýchlosti.

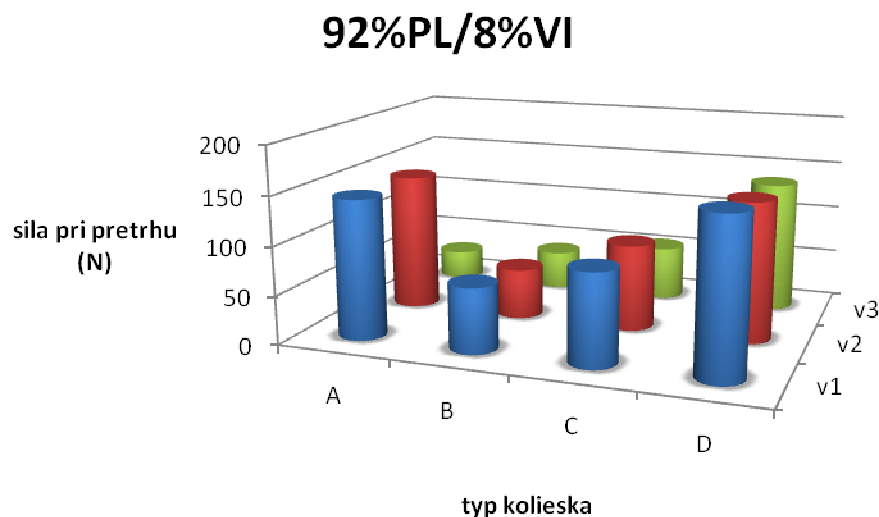


Graf č.2 Závislosť pevnosti ultrazvukom zváraného švu na rýchlosti zvárania pre 98%PL/2%VI

Graf č.2 ukazuje, že pevnosť v ťahu na vzorke 2 (98%PL/2%VI) pri ultrazvukovom zváraní s použitím 4 typov koliesok sa pohybuje v rozmedzí od 80 – 433N, podobne ako pri vzorke 1. Najvyššia pevnosť v ťahu je pri použití kolieska typu A pri zváracíj rýchlosti  $v_1 = 1 \text{ m/min}$  a amplitúde  $A = 70\%$  a najnižšia pri použití kolieska typu B, amplitúde  $A = 70\%$  a rýchlosti zvárania  $v_3 = 3 \text{ m/min}$ . Pri použití kolieska typu B nie je veľmi výrazný rozdiel medzi pevnosťami v ťahu pri použití rôznych rýchlostí, ale všetky tri hodnoty sú najnižšie zo všetkých nameraných hodnôt pre vzorku 2 a pevnosť pri  $v_1 = 1 \text{ m/min}$  je oproti pevnosti pri koliesku typu A a zváracíj rýchlosti  $v_1 = 1 \text{ m/min}$  nižšia takmer o 80%. Druhá najlepšia pevnosť je zaznamenaná pri použití kolieska typu D a zváracíj rýchlosti  $v_1 = 1 \text{ m/min}$ , tak ako pri vzorke 1.

Tam, kde boli zaznamenané najvyššie hodnoty pevnosti (typ kolieska A a rýchlosť  $v_1 = 1 \text{ m/min}$ , typ kolieska D a zváracia rýchlosť  $v_1 = 1 \text{ m/min}$  a  $v_2 = 1,5 \text{ m/min}$ ) došlo k poškodeniu švu aj tkaniny. Pri najvyšších rýchlostiach všetkých typov koliesok nedochádzalo k poškodzovaniu tkaniny, ale iba k rozdeleniu švu. Pri kolieskach typu B a C nedošlo k žiadnemu výraznému poškodeniu tkaniny pri ani jednej použitej rýchlosti.

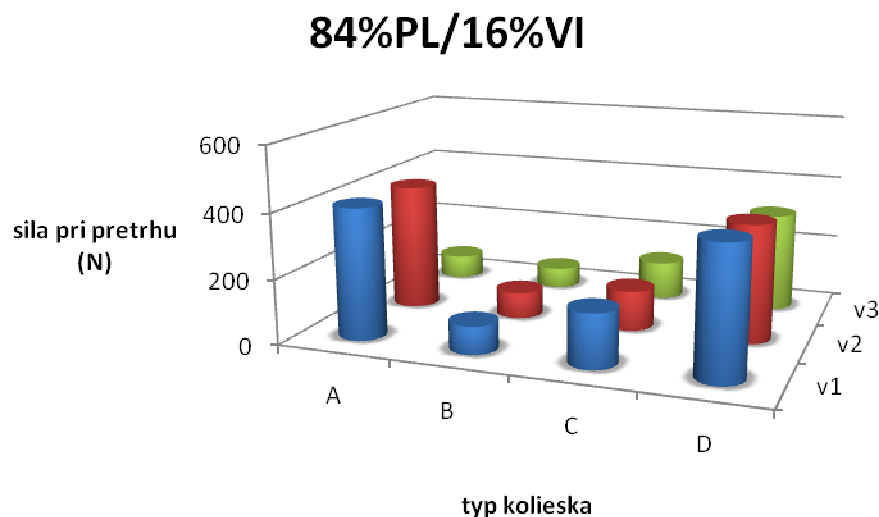




Graf č.3 Závislosť pevnosti ultrazvukom zváraného švu na rýchlosti zvárania pre 92%PL/8%VI

Graf č.3 ukazuje, že pevnosť v ťahu na vzorke 3 (92%PL/8%VI) pri ultrazvukovom zváraní s použitím 4 typov koliesok sa pohybuje v rozmedzí od 40 – 160N. Táto vzorka má najnižšiu pevnosť v ťahu spomedzi vybraných materiálov aj keď nejde o materiál s najnižším podielom viskóзовých vlákien. Môže to byť ovplyvnené napr. použitou väzbou, hrúbkou materiálu a taktiež samotnou pevnosťou materiálu, ktorá je spomedzi vybraných vzoriek najnižšia. Najvyššia pevnosť v ťahu je pri použití kolieska typu D pri zváracíj rýchlosti  $v1=1$  m/min a amplitúde  $A=50\%$  a najnižšia pri použití kolieska typu A, amplitúde  $A=70\%$  a rýchlosti zvárania  $v3=3$  m/min. Druhá najvyššia pevnosť je zaznamenaná pri použití kolieska typu A a zváracíj rýchlosti  $v1=1$  m/min a taká istá hodnota je nameraná aj pri koliesku typu D a zváracíj rýchlosti  $v2=1,5$  m/min. Pevnosť pri použití kolieska typu D a  $v1=1$  m/min je oproti pevnosti pri koliesku typu B a  $v1=1$  m/min nižšia takmer o 60%.

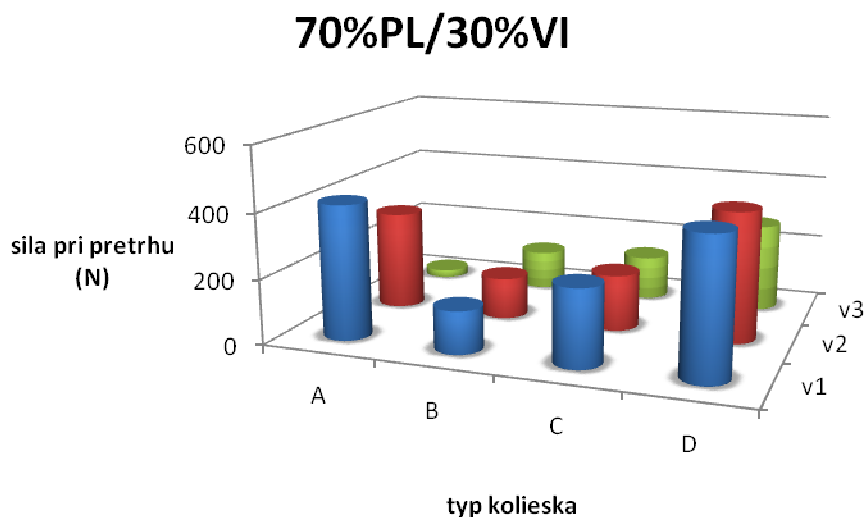
Tam, kde boli zaznamenané najvyššie hodnoty pevnosti (typ kolieska A a rýchlosť  $v1=1$  m/min,  $v2=2$  m/min a typ kolieska D a všetky tri zváracíj rýchlosti) došlo k poškodeniu švu aj tkaniny. Pri najvyšších rýchlostiach všetkých typov koliesok nedochádzalo k poškodzovaniu tkaniny, ale iba k rozdeleniu švu. Pri kolieskach typu B a C nedošlo k žiadnemu výraznému poškodeniu tkaniny pri ani jednej použitej rýchlosti.



Graf č.4 Závislosť pevnosti ultrazvukom zváraného švu na rýchlosti zvárania pre 84%PL/16%VI

Graf č.4 ukazuje, že pevnosť v ťahu na vzorke 4 (84%PL/16%VI) pri ultrazvukovom zváraní s použitím 4 typov koliesok sa pohybuje v rozmedzí od 65 – 407N. Najvyššia pevnosť v ťahu je pri použití kolieska typu A pri zváracíj rýchlosti  $v_1=1$  m/min a amplitúde  $A=70\%$  a najnižšia pri použití kolieska typu B, amplitúde  $A=70\%$  a rýchlosti zvárania  $v_3=3$  m/min, tak ako pri vzorke 2. Pri použití kolieska typu B nie je veľmi výrazný rozdiel medzi pevnosťami v ťahu pri použití rôznych rýchlostí, ale na rozdiel od kolieska typu A je pevnosť pri  $v_1=1$  m/min nižšia takmer o 80%. Druhá najvyššia pevnosť bola zaznamenaná pri použití kolieska typu D a zváracíj rýchlosti  $v_1=1$  m/min.

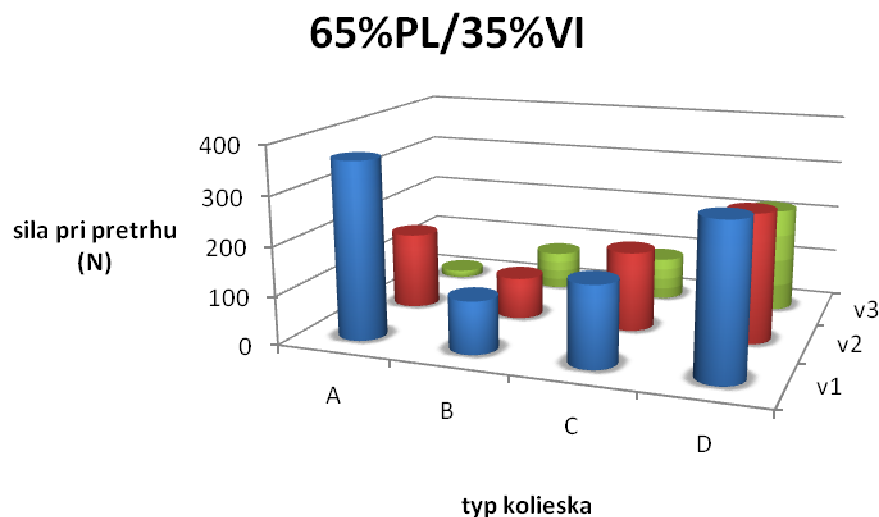
Tam, kde boli zaznamenané najvyššie hodnoty pevnosti (typ kolieska A a rýchlosť  $v_1=1$  m/min,  $v_2=2$  m/min a typ kolieska D a všetky tri zváracíj rýchlosti) došlo k poškodeniu švu aj tkaniny tak ako pri vzorke 3. Pri najvyšších rýchlostiach všetkých typov koliesok nedochádzalo k poškodzovaniu tkaniny, ale iba k rozdeleniu švu. Pri kolieskach typu B a C nedošlo k žiadnemu výraznému poškodeniu tkaniny pri ani jednej použitej rýchlosti.



Graf č.5 Závislosť pevnosti ultrazvukom zváraného švu na rýchlosti zvárania pre 70%PL/30%VI

Graf č.5 ukazuje, že pevnosť v ťahu na vzorke 5 (70%PL/30%VI) pri ultrazvukovom zváraní s použitím 4 typov koliesok sa pohybuje v rozmedzí od 24 – 426N. Najvyššia pevnosť v ťahu je pri použití kolieska typu D pri zváracíj rýchlosti  $v_1=1$  m/min a amplitúde  $A=50\%$  a najnižšia pri použití kolieska typu A, amplitúde  $A=70\%$  a pri rýchlosti zvárania  $v_3=3$  m/min. Pri použití kolieska typu B nie je veľmi výrazný rozdiel medzi pevnosťami v ťahu pri použití rôznych rýchlostí, ale na rozdiel od kolieska typu D je pevnosť pri  $v_1=1$  m/min nižšia takmer o 70%. Druhá najvyššia pevnosť bola zaznamenaná pri použití kolieska typu A a zváracíj rýchlosti  $v_1=1$  m/min.

Tam, kde boli zaznamenané najvyššie hodnoty pevnosti (typ kolieska A a rýchlosť  $v_1=1$  m/min, typ kolieska D a zváracíj rýchlosť  $v_1=1$  m/min a  $v_2=1,5$  m/min) došlo k poškodeniu švu aj tkaniny. Pri najvyšších rýchlostiach všetkých typov koliesok nedochádzalo k poškodzovaniu tkaniny, ale iba k rozdeleniu švu. Pri kolieskach typu B a C nedošlo k žiadnemu výraznému poškodeniu tkaniny pri ani jednej použitej rýchlosti.



Graf č.6 Závislosť pevnosti ultrazvukom zváraného švu na rýchlosti zvárania pre 65%PL/35%VI

Graf č.6 ukazuje, že pevnosť v ťahu na vzorke 6 (65%PL/35%VI) pri ultrazvukovom zváraní s použitím 4 typov koliesok sa pohybuje v rozmedzí od 15 – 365N. Najvyššia pevnosť v ťahu je pri použití kolieska typu A pri zváracej rýchlosti  $v_1=1$  m/min a amplitúde  $A=70\%$  a najnižšia taktiež pri použití kolieska typu A, amplitúde  $A=70\%$ , ale pri rýchlosti zvárania  $v_3=3$  m/min. Táto najnižšia hodnota je najnižšou nameranou hodnotou zo všetkých meraní pri všetkých typoch materiálov. Aj napriek tomu, že druhá najlepšia pevnosť bola zaznamenaná pri použití kolieska typu D a zváracej rýchlosti  $v_1=1$  m/min, tak zváranie týmto typom kolieska bolo najobtiažnejšie. Pevnosť pri použití kolieska typu A a  $v_1=1$  m/min je oproti pevnosti pri koliesku typu B a  $v_1=1$  m/min nižšia takmer o 60%.

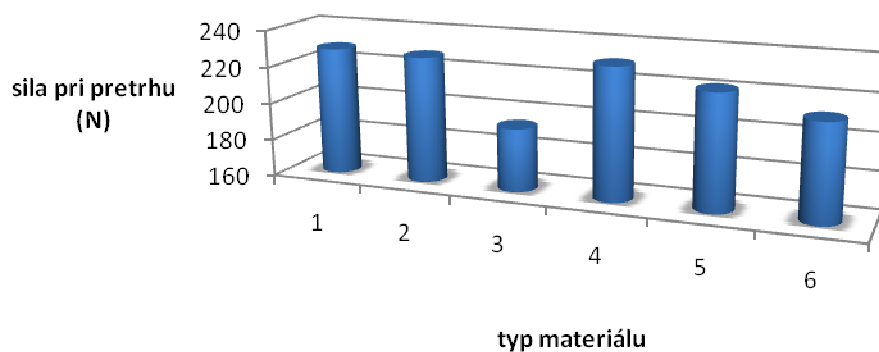
Tam, kde boli zaznamenané najvyššie hodnoty pevnosti (typ kolieska A a rýchlosť  $v_1=1$  m/min, typ kolieska D a zváracia rýchlosť  $v_1=1$  m/min a  $v_2=1,5$  m/min) došlo k poškodeniu švu aj tkaniny. Pri najvyšších rýchlostiach všetkých typov koliesok nedochádzalo k poškodzovaniu tkaniny, ale iba k rozdeleniu švu. Pri kolieskach typu B a C nedošlo k žiadnemu výraznému poškodeniu tkaniny pri ani jednej použitej rýchlosti.

Tabuľka č.4 Doporučené parametre zvárania (rýchlosť zvárania v m/min)

Typ kolieska	A	B	C	D
A, %	70	70	70	50
1	2	3	2	2
2	2	2	2	1
3	2	2	2	2
4	3	2	3	1
5	2	2	2	2
6	2	1	2	1,5

Pre všetky typy materiálov boli vybrané optimálne parametre ultrazvukového zvárania pri použití štyroch typov koliesok. Parametre boli vybrané na základe kvality švu po procese trhania na prístroji Labtest 2.5. Ak bola pevnosť spoja veľmi nízka, alebo veľmi vysoká a dochádzalo k poškodeniu tkaniny, parametre neboli vhodné.

### klasické šitie



Graf č.7 Pevnosť šitého švu

Graf č.7 zobrazuje pevnosť šitého švu. Hodnoty sa výrazne od seba neodchyľujú až na vzorku 3 (92%PL/8%VI), ktorá mala najnižšiu hodnotu aj pri ultrazvukovom zváraní.

### 5.3.1. Porovnanie pevnosti ultrazvukom zvaraného švu a šitého švu

Pevnosť niektorých zvaraných švov oproti šitým bola dvojnásobne väčšia (napr. pri 100%PL rýchlosti zvarania 1 m/min a koliesku A), ale na druhej strane v niektorých prípadoch bola aj dvojnásobne menšia (napr. pri 98%PL/2%VI koliesku typu C a rýchlosti zvarania 3 m/min).

Druhy poškodenia ultrazvukového spoja:

Boli zistené tri druhy poškodenia na ultrazvukom zvaraných švoch:

1. poškodenie švu bez poškodenia tkaniny
2. poškodenie tkaniny
3. kombinácia 1 a 2

Najoptimálnejšia zvaracia rýchlosť pri väčšine švov bola 2 m/min. Pri tejto rýchlosti bol šev dostatočne pevný a nedochádzalo k poškodeniu tkaniny. Najväčšia pevnosť spomedzi všetkých materiálov bola nameraná pre materiál 1 (100%PL) pri použití kolieska typu A a zvaracej rýchlosti  $v_1=1$  m/min. Celkovo najväčšie hodnoty boli namerané pri použití kolieska typu A a D. Pri týchto dvoch typoch koliesok a zvaracej rýchlosti  $v_1$  a  $v_2$  dochádzalo pri všetkých typoch tkanín k poškodeniu tkaniny aj švu. Najmenšia pevnosť pri použití všetkých typov koliesok bola nameraná pre materiál 3 (92%PL/8%VI), čo mohlo byť ovplyvnené samotnou pevnosťou materiálu, ktorá bola najnižšia zo všetkých typov materiálov, ale napr. aj použitou väzbou. Pri najvyšších rýchlostiach všetkých typov koliesok nedochádzalo k poškodzovaniu tkaniny, ale iba k rozdeleniu švu. Pri kolieskach typu B a C nedošlo k žiadnemu výraznému poškodeniu tkaniny pri ani jednej použitej rýchlosti. Najobtiažnejšie zvaranie bolo pre materiál 6 (65%PL/35%VI) pri použití kolieska typu D, keďže sa jedná o materiál s veľkou dostavou a malou plošnou hmotnosťou a najoptimálnejšie pre materiál 1 (100%PL) pri použití kolieska typu A.

Pri pevnostnej skúške šitého švu dochádzalo len k poškodeniu švu a nie k poškodeniu tkaniny.

#### **5.4. Postup domáceho prania a sušenia pre skúšanie textílií**

Pracia skúška sa prevádza podľa normy ČSN EN 26 330 v laboratórnych podmienkach s normou stanovených zariadení. Táto norma špecifikuje postupy domáceho prania a sušenia pre skúšanie textílií. Postupy sú vhodné pre plošné textílie, odevy alebo ďalšie textilné výrobky, ktoré sú podrobené vhodným kombináciám prací a sušiacich postupov. Úplná skúška obsahuje postup prania a sušenia.

##### Postupy praní

Podľa špecifikácie tejto normy je možné použiť 10 rôznych prací postupov založených na použití pračiek s vodorovným bubnom plneným spredu, alebo 9 postupov založených na použití pračiek vírivého typu s plnením zhora. Výsledky zrovnateľné s týmito dvoma typmi pračiek nesmú byť porovnateľné

##### Postup sušenia

Táto norma špecifikuje 5 sušiacich procesov. V závese na šnúre, odkvapkávanie, vo vodorovnej polohe, v rozprestretom stave plochým lisom a bubnové sušiče.

##### Podstata skúšky

Skúšaná vzorka sa perie a suší podľa stanovených postupov. Počet skúšaných vzoriek, ktoré sa majú podrobiť postupom prania a sušenia špecifikovaným v tejto norme sa stanoví podľa účelu, pre ktorý je materiál určený.

### 5.5. Výsledky vyhodnotenia pevnosti švu spojeného pomocou ultrazvukového zvarovania a klasickým šitím po prvom, treťom a piatom praní

Pre každý druh materiálu a typ kolieska sme vybrali vhodnú zvariaciu rýchlosť. Materiály boli spojené pomocou ultrazvukového zvarovania a následne prebehlo pranie a sušenie vzoriek. Zisťovanie pevnosti švu na prístroji LabTest prebehlo po prvom, treťom a piatom praní.

Tabuľka č.5 Pevnosť ultrazvukom zvarovaného preplátovaného švu s použitím štyroch typov koliesok po praní (F,N)

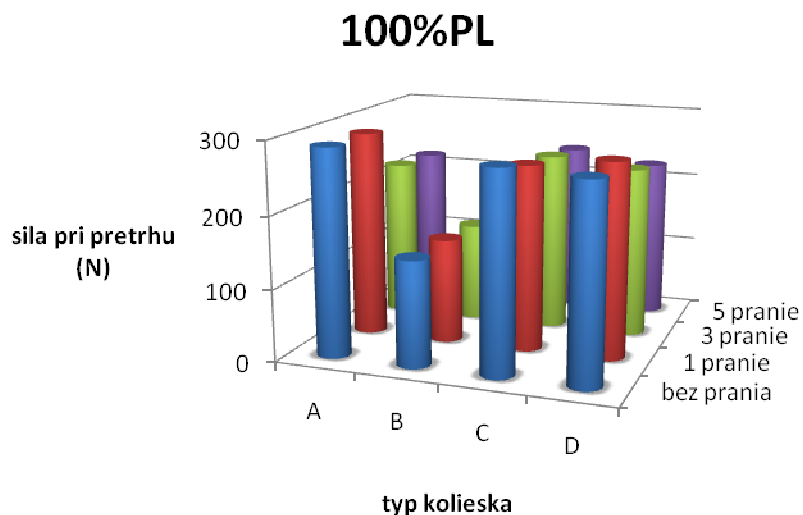
Typ kolieska	A			B			C			D		
Počet praní	1	3	5	1	3	5	1	3	5	1	3	5
1	288	222	217	146	139	120	259	250	240	272	239	224
2	221	215	193	93	90	88	186	131	130	314	257	213
3	140	133	130	51	49	48	89	69	65	128	126	112
4	32	26	20	77	74	71	117	111	111	380	352	314
5	306	299	270	128	123	122	174	171	140	265	245	241
6	151	151	150	106	91	76	142	141	140	263	252	249

Tabuľka č.6 Pevnosť šitého preplátovaného švu po praní (F,N)

Počet praní	1	3	5
1	199	199	187
2	200	182	179
3	188	167	162
4	224	190	176
5	219	208	208
6	192	165	164

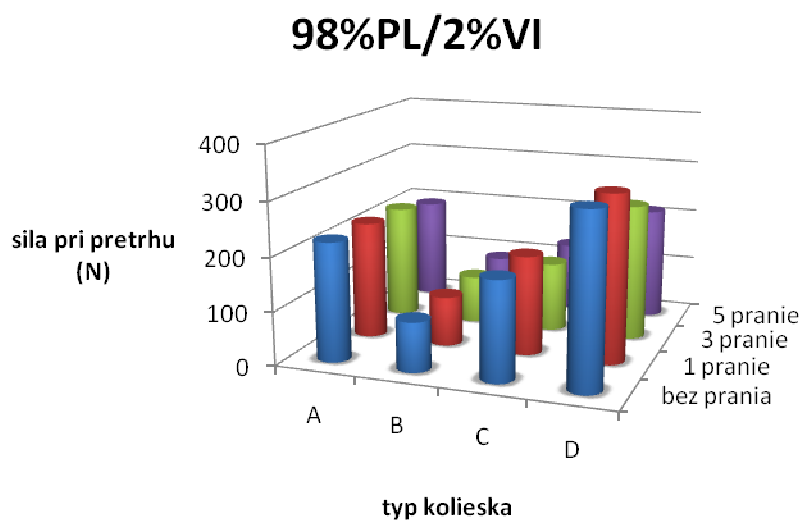
V nasledujúcom texte je uvedené grafické znázornenie stanovených výsledkov pevnosti švu pri ultrazvukovom zvarovaní a klasickom šití po praní a komentár k dosiahnutým výsledkom.





Graf č.8 Závislosť pevnosti ultrazvukom zváraného švu na počte praní pre 100%PL

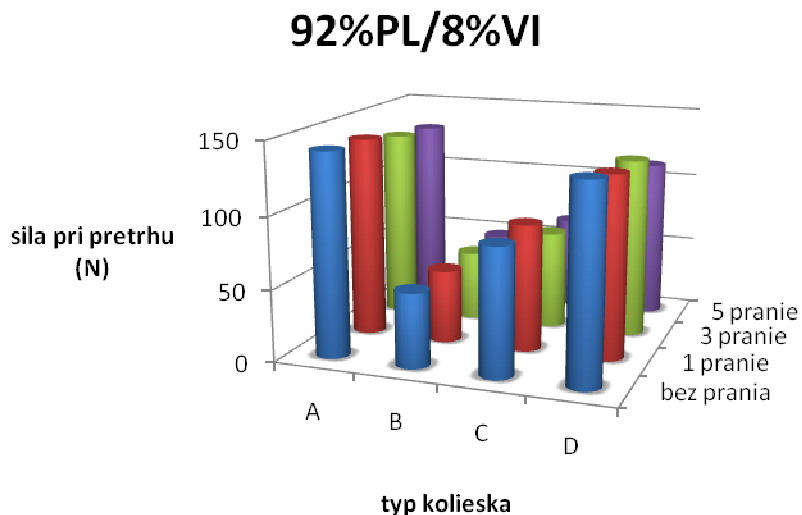
Graf č.8 ukazuje, že pevnosť v ťahu po praní na vzorke 1 (100%PL) pri ultrazvukovom zváraní s použitím 4 typov koliesok sa výrazne nezmenila. Po prvom praní sa najviac zmenšila pevnosť pri koliesku B o 7%, po treťom praní pri koliesku A o 23% a po piatom praní taktiež pri koliesku A o 25%.



Graf č.9 Závislosť pevnosti ultrazvukom zváraného švu na počte praní pre 98%PL/2%VI

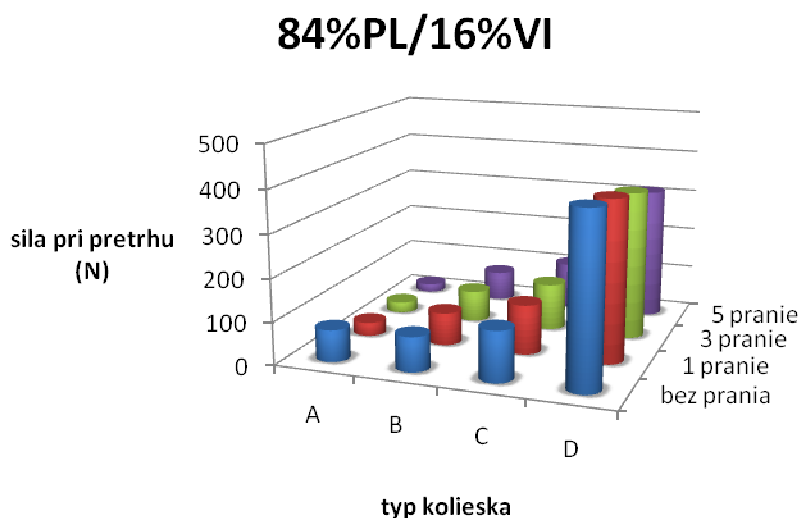
Graf č.9 ukazuje, že pevnosť v ťahu po praní na vzorke 2 (98%PL/2%VI) pri ultrazvukovom zváraní s použitím 4 typov koliesok sa výrazne nezmenila. Po prvom

praní sa najviac zmenšila pevnosť pri koliesku D o 10%, po treťom praní pri koliesku C o 30% a po piatom praní taktiež pri koliesku D o 39%.



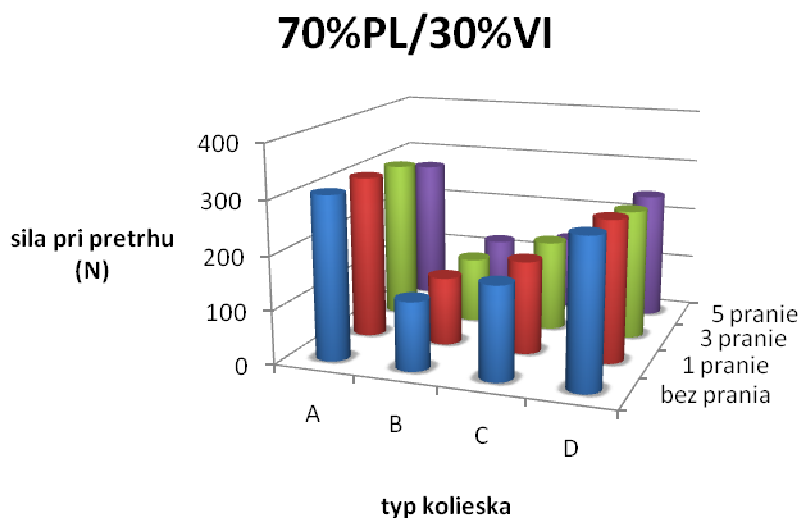
Graf č.10 Závislosť pevnosti ultrazvukom zváraného švu na počte praní pre 92%PL/8%VI

Graf č.10 ukazuje, že pevnosť v ťahu po praní na vzorke 3 (92%PL/8%VI) pri ultrazvukovom zváraní s použitím 4 typov koliesok sa výrazne nezmenila. Po prvom praní sa najviac zmenšila pevnosť pri koliesku D o 11%, po treťom praní pri koliesku C o 22% a po piatom praní taktiež pri koliesku C o 27%.



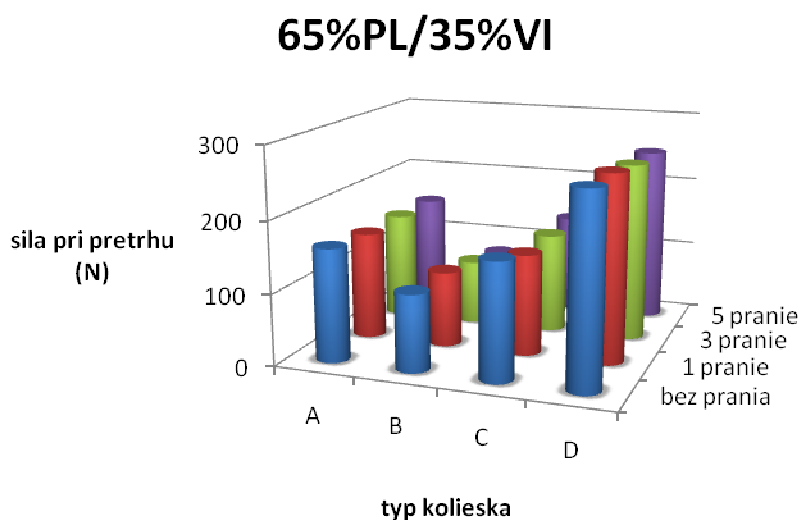
Graf č.11 Závislosť pevnosti ultrazvukom zváraného švu na počte praní pre 84%PL/16%VI

Graf č.11 ukazuje, že pevnosť v ťahu po praní na vzorke 4 (84%PL/16%VI) pri ultrazvukovom zváraní s použitím 4 typov koliesok sa výrazne nezmenila. Pevnosť sa najviac zmenila po prvom, treťom a piatom praní pri koliesku typu A a to pri prvom praní o 57%, po treťom o 56% a po piatom o 73%



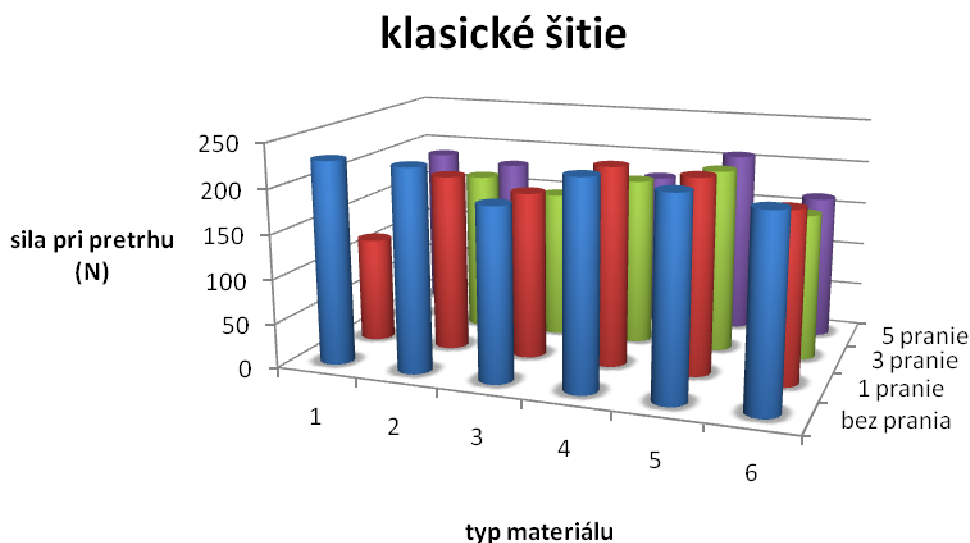
Graf č.12 Závislosť pevnosti ultrazvukom zváraného švu na počte praní pre 70%PL/30% VI

Graf č.12 ukazuje, že pevnosť v ťahu po praní na vzorke 5 (70%PL/30%VI) pri ultrazvukovom zváraní s použitím 4 typov koliesok sa výrazne nezmenila. Po prvom praní sa najviac zmenšila pevnosť pri koliesku D o 3%, po treťom praní taktiež pri koliesku D o 11% a po piatom praní pri koliesku typu C o 20%.



Graf č.13 Závislosť pevnosti ultrazvukom zváraného švu na počte praní pre 65%PL/35%VI

Graf č.13 ukazuje, že pevnosť v ťahu po praní na vzorke 6 (65%PL/35%VI) pri ultrazvukovom zváraní s použitím 4 typov koliesok sa výrazne nezmenila. Po prvom praní sa najviac zmenšila pevnosť pri koliesku C o 13%, po treťom praní pri koliesku B o 16% a po piatom praní taktiež pri koliesku B o 30%.



Graf č.14 Závislosť pevnosti šitého švu na počte praní

Pevnosť šitého švu sa taktiež ako pri šve získaného pomocou ultrazvukového zváranie výrazne nezmenila pre všetky druhy materiálov.

Prací cyklus nemal žiadny štatisticky významný vplyv na pevnosť ultrazvukového švu a taktiež šitého švu. Pevnosti švov sa po praní od seba výrazne neodchyľujú.

### 5.6. Výsledky vyhodnotenia a porovnanie pevnosti chrbátového a preplátovaného švu spojeného pomocou ultrazvukového zvarovania a klasickým šitím

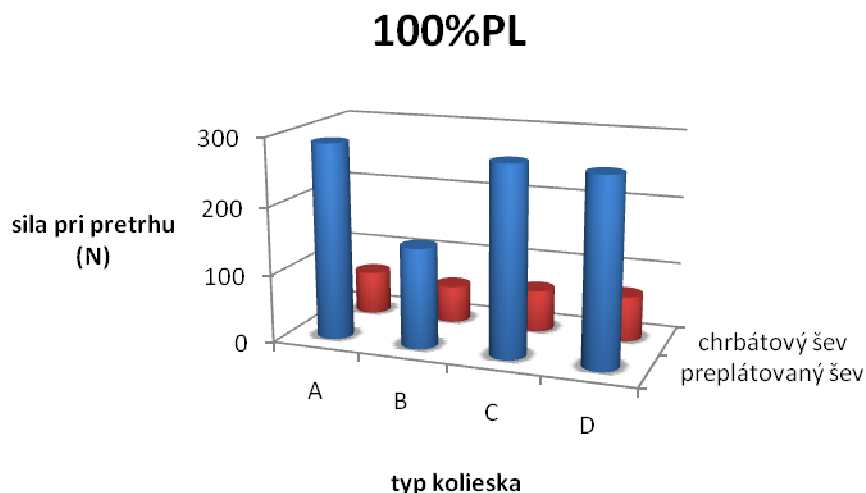
Tabuľka č.7 Pevnosť ultrazvukom zvarovaného preplátovaného švu- 1 a chrbátového švu- 2 pri vybraných parametroch s použitím štyroch typov koliesok (F,N)

Typ kolieska	A		B		C		D	
Typ švu	1	2	1	2	1	2	1	2
1	289	64	148	55	278	62	272	67
2	223	43	93	32	186	42	320	78
3	142	21	52	20	89	29	136	34
4	75	17	82	30	119	35	402	84
5	306	77	128	46	174	40	274	56
6	159	36	188	34	164	38	266	51

Tabuľka č.8 Pevnosť šitého chrbátového švu  
(F,N)

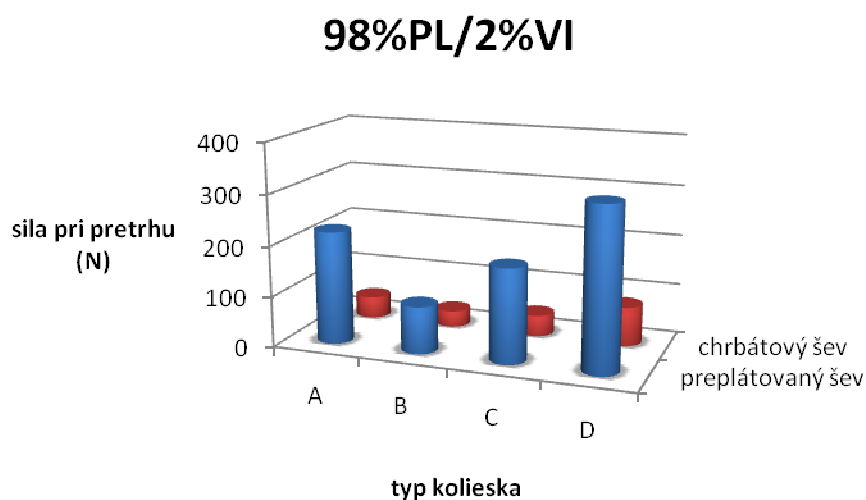
Referenčné označenie	Preplátovaný šev	Chrbátový šev
1	229	223
2	228	175
3	194	150
4	231	221
5	222	188
6	212	161

V nasledujúcom texte je uvedené grafické znázornenie stanovených výsledkov pevnosti chrbátového a preplátovaného švu pri ultrazvukovom zvarovaní a klasickom šití a komentár k dosiahnutým výsledkom.



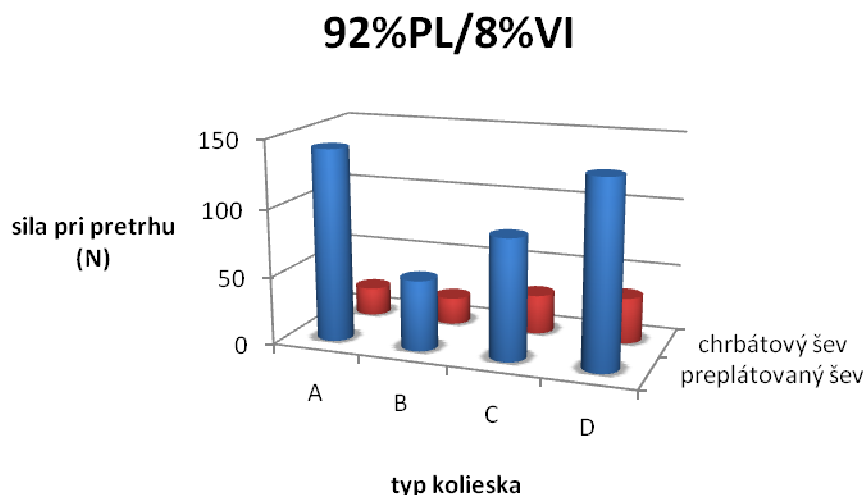
Graf č.15 Porovnanie pevnosti ultrazvukom zváraného preplátovaného a chrbátového švu pre 100%PL

Pevnosť chrbátového švu oproti preplátovanému sa výrazne zmenila pri použití všetkých typov koliesok. Pri použití kolieska typu A sa zmenšila o 78%, pri koliesku B o 63%, pri koliesku C tak ako pri koliesku typu A čiže o 78% a pri koliesku typu D o 75%.



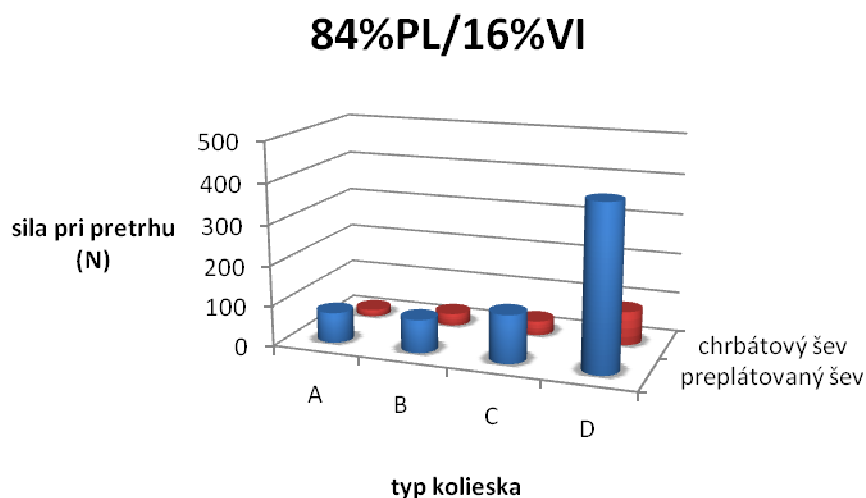
Graf č.16 Porovnanie pevnosti ultrazvukom zváraného preplátovaného a chrbátového švu pre 98%PL/2%VI

Pevnosť chrbátového švu oproti preplátovanému sa výrazne zmenila pri použití všetkých typov koliesok. Najviac sa zmenšila pri použití kolieska typu A o 80%, pri koliesku B o 66%, pri koliesku C o 77% a pri koliesku typu D o 76%.



Graf č.17 Porovnanie pevnosti ultrazvukom zváraného preplátovaného a chrbátového švu pre 92%PL/8%VI

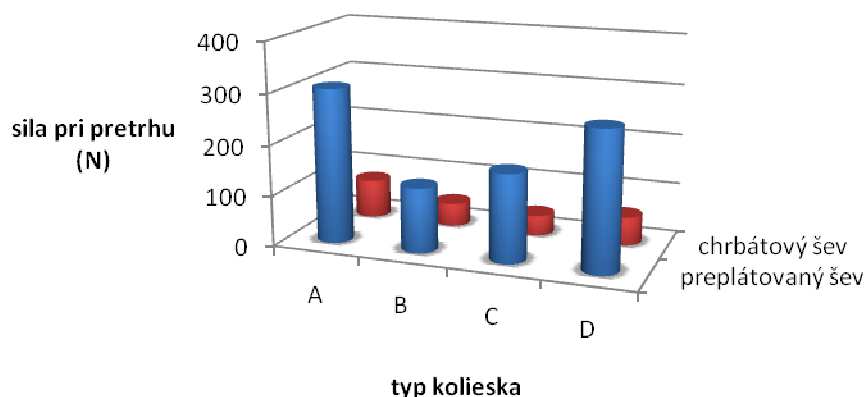
Pevnosť chrbátového švu oproti preplátovanému sa výrazne zmenila pri použití všetkých typov koliesok. Najviac sa zmenšila pri použití kolieska typu A o 86%, pri koliesku B o 62%, pri koliesku C o 65% a pri koliesku typu D o 75%.



Graf č.18 Porovnanie pevnosti ultrazvukom zváraného preplátovaného a chrbátového švu pre 84%PL/16%VI

Pevnosť chrbátového švu oproti preplátovanému sa výrazne zmenila pri použití všetkých typov koliesok. Najviac sa zmenšila pri použití kolieska typu D o 79%, ďalej pri koliesku A o 77%, pri koliesku C o 70% a pri koliesku typu B o 64%.

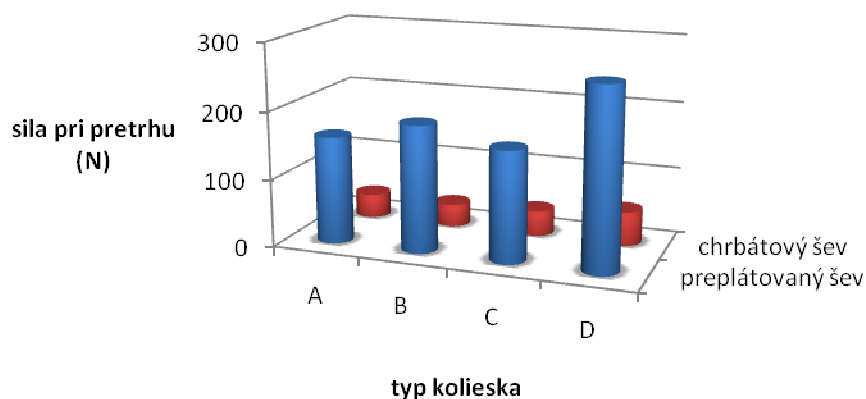
### 70%PL/30%VI



Graf č.19 Porovnanie pevnosti ultrazvukom zváraného preplátovaného a chrátového švu pre 70%PL/30%VI

Pevnosť chrátového švu oproti preplátovanému sa výrazne zmenila pri použití všetkých typov koliesok. Najviac sa zmenšila pri použití kolieska typu D o 80%, ďalej pri koliesku C o 77%, pri koliesku A o 77% a pri koliesku typu B o 64%.

### 65%PL/35%VI

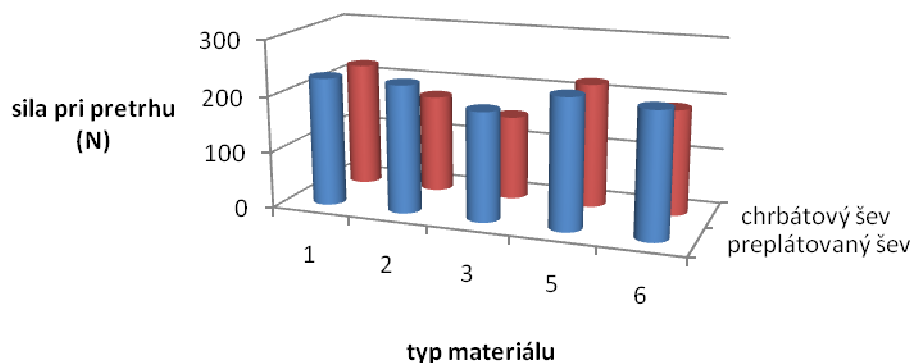


Graf č.20 Porovnanie pevnosti ultrazvukom zváraného preplátovaného a chrátového švu pre 65%PL/35%VI

Pevnosť chrátového švu oproti preplátovanému sa výrazne zmenila pri použití všetkých typov koliesok. Najviac sa zmenšila pri použití kolieska typu D o 81%, ďalej pri koliesku C a A o 77% a pri koliesku typu B o 68%.



## klasické šitie



Graf č.21 Porovnanie pevnosti šitého preplátovaného a chrbátového švu pre všetky materiály

Pevnosť šitého chrbátového švu sa oproti šitému preplátovanému nezmenila až tak výrazne ako pri švoch získaných pomocou ultrazvukového zvarovania. Najviac sa pevnosť zmenila pri materiály číslo 6 (65%PL/35VI) o 24% a najmenej pri materiály 1 (100%PL) o 3 %.

### 5.7. Porovnanie preplátovaného a chrbátového švu


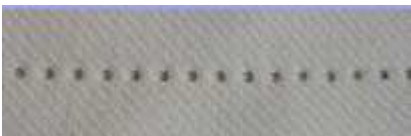


Pevnosť ultrazvukom zvaraného chrbátového švu sa oproti preplátovanému výrazne zmenila pri všetkých druhoch použitých materiálov. Pevnosť chrbátového švu pri použití 4 typov koliesok klesla o 60- 80%. Na rozdiel od ultrazvukového švu pevnosť chrbátového švu získaného klasickým šitím oproti preplátovanému sa nijak výrazne nezmenila. Pevnosť najviac klesla o 24%.

Pre ultrazvukové spojovanie odevných materiálov je vhodnejší preplátovaný šev, keďže má až o 80% väčšiu pevnosť než chrbátový šev.

### 5.8. Pevnosť zvaru

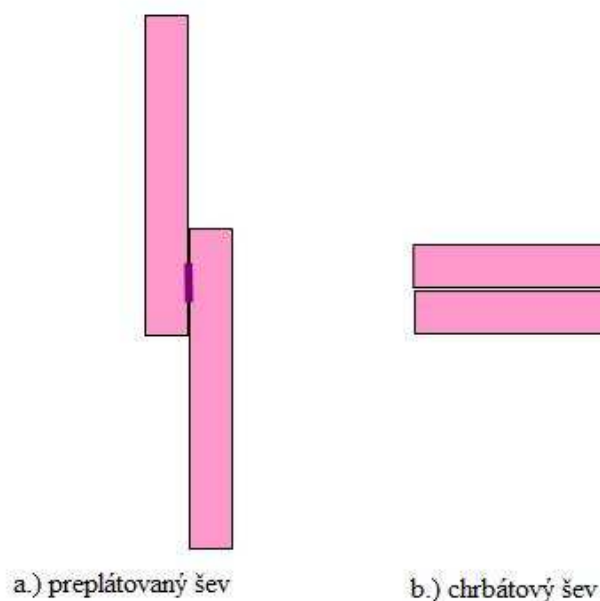
Pevnosť ultrazvukového zvaru závisí nielen od druhu materiálu a zváracích parametrov, ale taktiež od typu použitého kolieska. Každý typ kolieska má iný vzor. Podľa vzoru na koliesku môžeme určiť plochu zvaru. Plocha kolieska má vplyv na pevnosť spoja. Čím je väčšia plocha, tým je väčšia pevnosť. Táto pevnosť je ovplyvnená taktiež tlakom pôsobiacim v ploche zvaru. Rozloženie tlaku v ploche spoja je závislé na veľkosti plochy spoja. Čím je väčšia plocha spoja, tým sa tlak viac rozloží v ploche a jeho pôsobenie je menšie. Celková plocha a plocha zváraných a nezváraných miest je uvedená v nasledujúcej tabuľke.

Tabuľka č.9 Plocha spoja

Typ kolieska	Celková plocha kolieska (mm <sup>2</sup> )	Celková plocha spoja tkaniny (mm <sup>2</sup> )	Plocha nezváraných miest (mm <sup>2</sup> )	Plocha zváraných miest (mm <sup>2</sup> )
<b>A</b> 	250	200	90	110
<b>B</b> 	50	45	25	20
<b>C</b> 	200	195	160	40
<b>D</b> 	100	100	0	100

Najmenšiu plochu zváraných miest malo koliesko typu B a preto boli namerané hodnoty pevnosti spoja pri všetkých typoch materiálov najnižšie. Druhú najmenšiu hodnotu plochy zváraných miest a tak isto aj pevnosti spoja malo koliesko typu C. Kolieska typu A a D mali približne rovnakú hodnotu plochy zváraných miest a tým pádom aj hodnoty pevnosti spoja boli približne rovnaké.

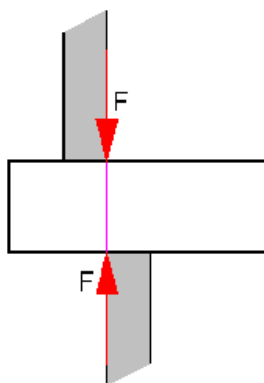
V predloženej práci boli použité dva typy švov a to preplátovaný a chrbátový. Pre ultrazvukové zváranie je vhodnejší preplátovaný šev, keďže má väčšiu pevnosť. Preplátovaný šev sa na trhačke trhá naraz zatiaľ čo chrbátový sa trhá postupne a tým je spôsobená nižšia pevnosť spoja.



Obr. č.25 Typy použitých švov

### 5.8.1. Namáhanie smykom

Pri zisťovaní pevnosti ultrazvukového spoja na trhačke prebieha namáhanie smykom. Namáhanie smykom je spôsobené dvoma silami na spoločnej nositeľke, rovnako veľkými, pôsobiacimi proti sebe smerom do telesa a ležiacim v rovine rezu.



Obr. č.26 Namáhanie smykom

Pevnostná podmienka v smyku:  $\tau_s = F / S \leq \tau_{Ds}$

- $\tau_s$  [Pa] je napätie v smyku
- $F$  [N] je zaťažujúca sila
- $S$  [m<sup>2</sup>] je plocha nebezpečného prierezu
- $\tau_{Ds}$  [Pa] dovolené napätie v smyku

### 5.9. Závislosť materiálového zloženia na pevnosti spoja

Porovnanie prebehlo pre 1, 2, 5 a 6 typ materiálu, keďže 3 materiál mal samotnú pevnosť tkaniny najnižšiu a tým bola ovplyvnená pevnosť spoja a materiál 4 má ako jediný plátnovú väzbu.

Tabuľka č.10 Závislosť materiálového zloženia na pevnosti spoja preplátovaného ultrazvukového švu pre koliesko typu A a B

Typ spoja	Ultrazvukový spoj s kolieskom typu A			Ultrazvukový spoj s kolieskom typu B		
A, %	70			70		
V, m/min	1	2	3	1	2	3
1	100%	94%	86%	100%	100%	100%
2	98%	72%	100%	60%	60%	54%
5	94%	100%	26%	82%	83%	82%
6	82%	52%	16%	66%	55%	51%

Tabuľka č.11 Závislosť materiálového zloženia na pevnosti spoja preplátovaného ultrazvukového švu pre koliesko typu C a D

Typ spoja	Ultrazvukový spoj s kolieskom typu C			Ultrazvukový spoj s kolieskom typu D		
A, %	70			50		
V, m/min	1	2	3	1	1,5	2
1	100%	100%	100%	82%	76%	99%
2	68%	67%	40%	75%	72%	88%
5	82%	63%	66%	100%	100%	100%
6	57%	60%	42%	73%	66%	80%

Vo väčšine prípadov mal 100% pevnosť 100% PL a najnižšiu v priemere 58% pevnosť má materiál so zložením 65%PL/35%VI. Materiál 98%PL/2%VI mal v priemere 71% pevnosť a materiál 92%PL/8%VI mal 81% pevnosť.

Predpokladalo sa, že s rastúcim počtom viskóзовých vlákien mala pevnosť spoja klesať, ale aj napriek odstupňovanému zloženiu PL a VI vlákien bola pevnosť niekedy vyššia aj pri materiáloch s väčším počtom VI vlákien. To bolo spôsobené tým, že materiály mali rozdielnú plošnú hmotnosť, hrúbku materiálu, dostavu a pevnosť tkaniny.

## 6. ZÁVER

Predložená diplomová práca bola zameraná na analýzu tvorby ultrazvukových spojov v závislosti na technických a materiálových parametroch. V teoretickej časti bola prevedená rešerš o ultrazvukovom zváraní, princípe a spôsoboch ultrazvukového zvárania, použitia v priemysle a ultrazvukovej technike.

V rámci tejto diplomovej práce bol prevedený experiment, ktorého cieľom bolo zistiť pevnosť švov odevných materiálov spojených pomocou ultrazvuku a vhodnosť materiálu a švu pre ultrazvukové spojovanie pri stanovených parametroch zvárania.

Bolo vybraných šesť druhov materiálov s rôznym pomerom polyesterových a viskózových vlákien. Vzhľadom k tomu, aby mohlo dôjsť k spojeniu materiálov bola potrebná prítomnosť väčšieho počtu polyesterových vlákien v materiály. Ultrazvukový spoj bol porovnaný s klasickým šitým spojom.

Boli vybrané štyri druhy koliesok s rôznym vzorom, vhodné pre všetky použité materiály. Plocha kolieska mala vplyv na pevnosť spoja. Pre daný materiál a typ kolieska boli stanovené zvaracie parametre ako amplitúda, rýchlosť zvárania, tlak a vzdialenosť sonotródy a kolieska. Spojovanie prebiehalo na kontinuálnom ultrazvukovom zvaracom stroji typu Pfaff 8310 Seamsonic. Pomocou prístroja Labtest 2.5x bola zisťovaná pevnosť ultrazvukom zváraných švov. Hodnoty pevnosti sa menili v závislosti od typu použitého kolieska a taktiež zvaracích parametrov. Najvyššia dosiahnutá hodnota pevnosti ultrazvukového švu bola pri 100%PL a najnižšia aj keď by bola očakávaná pri materiály s najväčším podielom viskózových vlákien bola však nameraná pre materiál so zložením 92%PL/8%VI, čo bol materiál s tretím najväčším podielom polyesterových vlákien. Ultrazvukový šev pri použití tohto typu materiálu mal najnižšiu pevnosť v ťahu spomedzi vybraných materiálov čo mohlo byť ovplyvnené hrúbkou materiálu, väzbou a taktiež samotnou pevnosťou materiálu.

Pre porovnanie bola zisťovaná aj pevnosť klasického šitého švu, ktorá bola oproti ultrazvukovému zváraniu v niektorých prípadoch dvojnásobne vyššia, ale na druhej strane aj dvojnásobne nižšia.

Pre všetky typy materiálov boli spomedzi stanovených parametrov doporučené optimálne parametre ultrazvukového zvárania pre každý typ kolieska. Materiály boli spojené pomocou týchto parametrov a taktiež klasickým šitím a následne prebehlo

pranie a sušenie vzoriek. Pevnosť švu bola zisťovaná po prvom, treťom a piatom praní.

V závere bolo zistené, že prací cyklus nemal žiadny štatisticky významný vplyv na pevnosť ultrazvukového a šitého švu.

Ďalej prebehlo porovnanie preplátovaného a chrbátového švu získaného ultrazvukovým zváraním a klasickým šitím pri doporučených parametroch.

Ultrazvukové zváranie je efektívne pre tkaniny obsahujúce viac ako 50% polyesterových vlákien. Čím je väčší podiel polyesterových vlákien tým je ultrazvukový spoj kvalitnejší. Výskyt prírodných alebo živočíšnych vlákien znižuje pevnosť a kvalitu ultrazvukového spoja. Pre ultrazvukové spojovanie odevných materiálov je najvhodnejší preplátovaný šev. Preplátovaný šev má oproti chrbátovému švu podstatne vyššiu pevnosť. Pevnosť švu závisí na zváracích parametroch. Tieto parametre je možné rôzne kombinovať a tak dosiahnuť rôzny vzhľad a pevnosť švu.

## 7. ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY PRE SPRACOVANIE DP

- [1] <http://www.ultrazvuk.cz/> [27.3.2010]
- [2] Kalousová, M.: Diplomová práce, Využití ultrazvuku při praní textilií, Technická univerzita v Liberci 2008
- [3] <http://hw.cz/Firemni-clanky/ART491-Prakticke-vyuziti-ultrazvuku.html> [27.3.2010]
- [4] Aplikovaná fyzika, Akustika, FBI- VŠB- TU Ostrava
- [5] Zouharová, J.: Výroba odevu II, Technická univerzita v Liberci 2004
- [6] Motejl, V.: Stroje a zařízení v oděvní výrobě, Praha 1984
- [7] Zelová, K.: Stroje a zařízení oděvní výroby- cvičení, Spojovací proces, Technická univerzita v Liberci
- [8] Vujasinović, E., Janković, Z., Dragčević, Z., Petrunić, I. and Rogale D. Investigation of the strength of ultrasonically welded sails. International Journal of Clothing Science and Technology, Vol. 19 No. 3/4, 2007, pp. 204-214
- [9] Štengl, V. – Šubrt, J.: Výkonový ultrazvuk a jeho aplikace, Chemické listy 98
- [10] Sodomka, L.: Struktura, vlastnosti, diagnostika a nové technologie oddělování, spojování a pojení textilií, Technická univerzita v Liberci 2002
- [11] <http://www.twi.co.uk/content/pjkultrason.html> [27.3.2010]
- [12] <http://www.pfaff-industrial.com/> [27.3.2010]
- [13] Katalóg PFAFF industrial, Seamsonic 8310/8312 Ultrasonic welding machine for continou welding of flexible termoplastics materials and nonwovens
- [14] Lebid, O. – Havelka, A.: Investigation of the strength of ultrasonically connected clothes, Structure and Structural Mechanics of Textiles, TUL 2009
- [15] [http://www.tzu.cz/get\\_dokument.php?ID=1054](http://www.tzu.cz/get_dokument.php?ID=1054) [27.3.2010]
- [16] Obraz, J.: Ultrazvuk v měřící technice, SNTL Praha 1976
- [17] Švehla, Š.- Figura, Z.: Ultrazvuk v technológii, ALFA Bratislava 1984
- [18] <http://www.sonotronic.com/technologies/ultrasonic/ultrasonic-welding> [27.3.2010]
- [19] [http://sk.wikipedia.org/wiki/S%C3%BAbor:Ultrasound\\_range\\_diagram\\_png\\_%28sk%29.svg](http://sk.wikipedia.org/wiki/S%C3%BAbor:Ultrasound_range_diagram_png_%28sk%29.svg) [27.3.2010]
- [20] [www.fi.muni.cz/~kopecek/ds2p.ppt](http://www.fi.muni.cz/~kopecek/ds2p.ppt) [27.3.2010]
- [21] Řihošková, E.: Diplomová práce, Využití a ekonomické vyhodnocení ultrazvukového spojování pro potřeby závodu Johnson Controls Česká Lípa, Technická univerzita v Liberci 2009



- [22] <http://www.sut.biz/en/schunk01.c.30329.de> [27.3.2010]
- [23] <http://www.dukcorp.eu/cz/technologie/ultrazvukove-svarovani/> [27.3.2010]
- [24] Lebid, O. – Havelka, A.: Influence of parameters fabrics for properties ultrasonic seaming, Department of Clothing, Faculty of Textile Sciences, Technical University of Liberec
- [25] <http://www.ultrazvukove-svarovani.cz/html/cs/technologie-ultrazvukoveho-svarovani.phtml> [19.4.2010]
- [26] [http://www.spsko.cz/documents/MEC\\_kratochvil/PRU%C5%BDNOST/02\\_PRUZ\\_NOST\\_A\\_PEVNOST\\_Z%C3%A1kladn%C3%ADdruhy%20nam%C3%A1h%C3%A1n%C3%AD.pdf](http://www.spsko.cz/documents/MEC_kratochvil/PRU%C5%BDNOST/02_PRUZ_NOST_A_PEVNOST_Z%C3%A1kladn%C3%ADdruhy%20nam%C3%A1h%C3%A1n%C3%AD.pdf) [19.4.2010]

**Zoznam obrázkov predloženej DP**

- Obr. č.1 Ultrazvuk a jeho využitie [21]
- Obr. č.2 Vlastnosti postupného vlnenia [22]
- Obr. č.3 Ohrev z vonkajšej strany [7]
- Obr. č.4 Ohrev z vnútornej strany [7]
- Obr. č.5 Zváranie horúcim klínom [7]
- Obr. č.6 Nepolarizovaný a polarizovaný materiál [7]
- Obr. č.7 Ultrazvukové zváranie [14]
- Obr. č.8 Stroj na ultrazvukové zváranie [14]
- Obr. č.9 Ultrazvukový zvárací systém pre spojovanie termoplastických materiálov [12]
- Obr. č.10 Použitie ultrazvukového zvárania v oblasti technických textílií [13]
- Obr. č.11 Použitie ultrazvukového zvárania v oblasti výroby odevov [13]
- Obr. č.12 Použitie ultrazvukového zvárania v oblasti automobilového priemyslu [13]
- Obr. č.13 Funkčná schéma zváracieho stroja (obdoba šijacieho stroja) [5]
- Obr. č.14 Funkčná schéma špeciálnej konštrukcie zváracieho stroja [5]
- Obr. č.15 (a) koliesko s bodovou rytinou, (b) s cik-cak rytinou, (c) s jednou líniou, (d) s tromi líniami [8]
- Obr.č.16 (a)ultrazvukový spoj s kolieskom typu (a), (b) ultrazvukový spoj s kolieskom typu (b), (c) ultrazvukový spoj s kolieskom typu (c), (d) ultrazvukový spoj s kolieskom typu (d), (e) klasický spoj [8]
- Obr. č.17 Komponenty ultrazvukovej zväračky [26]
- Obr. č.18 Pohľad na sonotródu a koliesko ultrazvukového zváracieho stroja [14]
- Obr. č.19 Cut & Seal PFAFF 8312 CS [14]
- Obr. č.20 Cut & Seal PFAFF 8310 CS dual [14]
- Obr. č.21 Typy koliesok A,B [25]
- Obr. č.22 Typy koliesok C,D [25]
- Obr. č.23 Rozmer ultrazvukom spojenej vzorky pre trhačku
- Obr. č.24 Rozmer vzorky spojenej klasickým šitím pre trhačku
- Obr. č.25 Typy použitých švov
- Obr. č.26 Namáhanie smykom

## **Zoznam tabuliek predloženej DP**

Tabuľka č.1 Štruktúrne vlastnosti tkaniny

Tabuľka č.2 Pevnosť ultrazvukom zváraného preplátovaného švu s použitím štyroch typov koliesok

Tabuľka č.3 Pevnosť šitého preplátovaného švu

Tabuľka č.4 Doporučené parametre zvárania

Tabuľka č.5 Pevnosť ultrazvukom zváraného preplátovaného švu s použitím štyroch typov koliesok po praní

Tabuľka č.6 Pevnosť šitého preplátovaného švu po praní

Tabuľka č.7 Pevnosť ultrazvukom zváraného chrbátového švu s použitím štyroch typov koliesok

Tabuľka č.8 Pevnosť šitého chrbátového švu

Tabuľka č.9 Plocha spoja

Tabuľka č.10 Závislosť materiálového zloženia na pevnosti spoja preplátovaného ultrazvukového švu pre koliesko typu A a B

Tabuľka č.11 Závislosť materiálového zloženia na pevnosti spoja preplátovaného ultrazvukového švu pre koliesko typu C a D

## Zoznam grafov predloženej DP

Graf č.1 Závislosť pevnosti ultrazvukom zváraného švu na rýchlosti zvarovania pre 100%PL

Graf č.2 Závislosť pevnosti ultrazvukom zváraného švu na rýchlosti zvarovania pre 98%PL/2% VI

Graf č.3 Závislosť pevnosti ultrazvukom zváraného švu na rýchlosti zvarovania pre 92%PL/8% VI

Graf č.4 Závislosť pevnosti ultrazvukom zváraného švu na rýchlosti zvarovania pre 84%PL/16% VI

Graf č.5 Závislosť pevnosti ultrazvukom zváraného švu na rýchlosti zvarovania pre 70%PL/30% VI

Graf č.6 Závislosť pevnosti ultrazvukom zváraného švu na rýchlosti zvarovania pre 65%PL/35% VI

Graf č.7 Pevnosť šitého švu

Graf č.8 Závislosť pevnosti ultrazvukom zváraného švu na počte praní pre 100%PL

Graf č.9 Závislosť pevnosti ultrazvukom zváraného švu na počte praní pre 98%PL/2% VI

Graf č.10 Závislosť pevnosti ultrazvukom zváraného švu na počte praní pre 92%PL/8% VI

Graf č.11 Závislosť pevnosti ultrazvukom zváraného švu na počte praní pre 84% PES/16% CV

Graf č.12 Závislosť pevnosti ultrazvukom zváraného švu na počte praní pre 70%PL/30% VI

Graf č.13 Závislosť pevnosti ultrazvukom zváraného švu na počte praní pre 65%PL/35% VI

Graf č.14 Závislosť pevnosti šitého švu na počte praní

Graf č.15 Porovnanie pevnosti ultrazvukom zváraného preplátovaného a chrbátového švu pre 100%PL

Graf č.16 Porovnanie pevnosti ultrazvukom zváraného preplátovaného a chrbátového švu pre 98%PL/2% VI

Graf č.17 Porovnanie pevnosti ultrazvukom zváraného preplátovaného a chrbátového švu pre 92%PL/8% VI

Graf č.18 Porovnanie pevnosti ultrazvukom zváraného preplátovaného a chrbátového švu pre 84%PL/16%VI

Graf č.19 Porovnanie pevnosti ultrazvukom zváraného preplátovaného a chrbátového švu pre 70%PL/30%VI

Graf č.20 Porovnanie pevnosti ultrazvukom zváraného preplátovaného a chrbátového švu pre 65%PL/35%PL

Graf č.21 Porovnanie pevnosti šitého preplátovaného a chrbátového švu pre všetky materiály